



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Pedro Miguel Azevedo Peniche da Silva

CARACTERIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS ANTIGAS

Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente
Dissertação para obtenção de grau de mestre

Trabalho efectuado sob a orientação de:

Orientador Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira (IPVC)
Co-orientador Doutor José A.F.O. Correia (INEGI/FEUP)



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

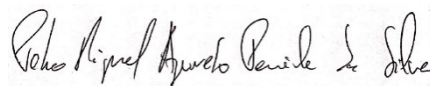
Pedro Miguel Azevedo Peniche da Silva
Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

Título da dissertação

Dissertação apresentada á Escola Superior de Tecnologia e Gestão
concernente ao Instituto Politécnico de Viana do Castelo com o objectivo de
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e do Ambiente.

A presente dissertação foi efectuada sob orientação do Professor Doutor
Carlos Oliveira e co-orientação doa Doutor José A.F.O. Correia.

Verifico a originalidade desta dissertação

X 

Pedro Silva

“Assim como cada vida humana é considerada única, chegou a altura de reconhecer, também, o carácter único da Terra.” (Carta de Digne 1991)

1. AGRADECIMENTOS

Gostaria de presentear o meu orientador Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira, com o meu melhor e especial agradecimento pela sua experiente e qualitativa capacidade de orientação, sempre com o positivismo e palavras certas na hora certa, que me incentivarem na conclusão desta tão ambicionada dissertação, bem como pela sua constante disponibilidade, por vezes fora de horas, dada a minha localização no estrangeiro.

Gostaria igualmente de gratificar ao meu co-orientador o Dr. José A.F.O. Correia (INEGI - FEUP), pela força que me deu no arranque desta caminhada, bem como a sua vasta experiencia em procedimentos laboratoriais.

Um agradecimento especial ao Professor Rui Teixeira do departamento de geologia da Universidade Trás-Os-Montes E Alto Douro (UTAD), pela sua exímia orientação e vasto conhecimento ilustrado relativo a mineralogia. Á Professora Cristina Madureira Dos Reis pelos seus conselhos ao longo desta etapa, bem como pela sua ajuda e orientação aquando ás minhas deslocações á UTAD. O meu muito obrigado a Dra. Arqueóloga Ana Rosa Gomes Pinto da Cruz, bem como todos os arqueólogos intervenientes nas escavações, por me acolherem e me facultarem todos os meios e ensinamentos necessários para a elaboração desta dissertação. Uma palavra de agradecimento ao Laboratório de Análise Estrutural e Microestrutural da Unidade de Investigação & Desenvolvimento em Materiais (UIDM) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Ao museu de Conímbriga personificada pelo director Virgílio Hipólito Correia e o Técnico Superior Pedro Sales o meu muito obrigado, pela disponibilização das plantas das ruínas de Conímbriga que permitiram uma melhor localização das amostras recolhidas.

Um grande reconhecimento e gratidão á minha entidade patronal personificada pelo meu patrão Ricky pela compreensão e motivação essenciais para culminar esta investigação.

Um agradecimento, que também deve ser partilhado com todos os docentes e colegas de curso e instituição, que fizeram parte das variáveis que levaram a este tão ambicionado resultado.

É um grande agradecimento à vida em si, pelas etapas fáceis de enumerar, mas tão árduas e difíceis de conquistar.

A todas as pessoas enunciados um muito obrigado, por tudo!

Por fim gostaria de dedicar esta dissertação à memória dos meus avós, em especial à minha Avó Alice Pereira.

É um tributo à minha família, namorada e amigos, pela paciência e capacidade de forma directa ou indirecta me ajudaram a manter o rumo em condições por vezes adversas.

Nota: Este relatório encontra-se redigido á luz do Antigo Acordo Ortográfico.

2. ABREVIATURAS

Simbolo	Significado
MEV	Microscopia electrónica de varrimento
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
SO ₂	Dióxido de Enxofre
H ₂ O	Água
Ca	Cálcio
OH ⁻	Hidróxido
Al	Alumínio
Pb	Chumbo
Mg	Magnésio
Ni	Níquel
Si	Silício
O	Oxigénio
S	Enxofre
K	Potássio
Al	Alumínio
P	Fósforo
Zn	Zinco
Na	Sódio
C	Carbono
Cm	Centímetro
µm	Micrómetro
SiO ₂	Silício
CaCO ₃	Calcite
Na	Sódio

3. RESUMO

A preservação e reabilitação de marcos históricos, são uma real necessidade na preservação da identidade histórica e cultural de um país. É um prenúncio claro, à importância no conhecimento das características das argamassas a utilizar no processo de recapitação dos símbolos representativos da história de um povo. Para o sucesso do processo é necessário um conhecimento profundo das características dos materiais a intervir, para isso é necessário um estudo mais personalizado e menos generalizado, pois só assim é possível garantir a compatibilidade das argamassas de reabilitação aos suportes existentes nos locais a intervir.

Para a elaboração desta investigação sobre argamassas antigas, foram necessárias pesquisas a nível bibliográfico, académico, de campo, bem como recolha de amostras, ensaios laboratoriais, análise e tratamento de resultados. A investigação consistiu na recolha e análise de amostras provenientes de duas localizações, sendo elas, A Gruta superior do Morgado e Ruínas de Conímbriga que posteriormente foram analisadas com o apoio infra-estrutural dos laboratórios da ESTG / IPVC.

A composição das amostras, permitiu adquirir informação importante que permitirá futuramente seleccionar e/ou ajustar dosagens, quer no fabrico, quer na aplicação. Com o conhecimento da composição das amostras permite também evitar erradas aplicações de materiais que possam ter efeito inverso ao pretendido, promovendo assim a recuperação, total ou parcial, sempre que possível contrariando a deterioração da identidade cultural nacional.

Palavras chave: argamassas antigas; compatibilidade das argamassas; gruta superior do morgado; ruínas de Conímbriga

Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Instituto Politécnico de Viana do Castelo Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

4. ABSTRACT

The preservation and rehabilitation of historical landmarks are a real necessity in preserving the historical and cultural identity of a country. It is a clear warning of the importance of the knowledge of the characteristics of the mortars to in use on the process of reconstitution of the representative symbols of the history of the people. For the success of the process. It's imperative a true knowledge of the characteristics of the materials to be intervened. For this, a more personalized and less general study is necessary, since this is the only way to guarantee the compatibility of the mortars to the existing supports in the places to be intervened.

For the elaboration of this investigation, it was necessary bibliographical, field and academic research, as well as sample collection, laboratory tests, analysis and treatment of results. The research consisted of the collection and analysis of samples from two locations, The Upper cave of Morgado and Conímbriga Ruins, which were analysed with the support of ESTG / IPVC laboratories.

The composition of the samples allowed acquiring important information that will allow selecting and / or adjusting dosages, in the manufacture and on application. With the knowledge of the composition of the samples, it's also possible to avoid misapplication of materials that may have an inverse effect to the desired one, in order to promote the recovery, totally or partially, whenever possible, avoiding the deterioration of the national cultural identity.

Keywords: ancient mortars; compatibility between mortars; gruta superior do morgado; ruínas de Conímbriga

5. ÍNDICE

1. AGRADECIMENTOS.....	IV
2. Abreviaturas	VI
3. RESUMO	VIII
4. ABSTRACT	X
1. ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
2. ÍNDICE DE TABELAS	XX
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Enquadramento geral tema.....	2
1.2. Principais objectivos a atingir	3
1.3. Definição de argamassas tradicionais.....	3
1.3.1. Ligantes.....	3
1.3.2. Ligantes de cal	4
1.3.3. Gesso	7
1.3.4. Agregados	9
1.3.5. Água de amassadura	11
1.3.6. Aditivos	12
1.4. Enquadramentos histórico das argamassas e sua caracterização .	13
1.4.1. Primeiras argamassas.....	13
1.4.2. Argamassas de cal	13
1.4.3. Argamassas de gesso	16
1.5. Contextualização das argamassas antigas em Portugal.....	17
2. ENSAIOS UTILIZADOS.....	22
2.1. Análise Petrográfica	22
2.2. Microscópio electrónico de varrimento (MEV).....	23

2.2.1.	Princípio de funcionamento	24
2.3.	Espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	24
2.3.1.	Princípio de funcionamento	25
3.	CASOs DE ESTUDO	26
3.1.	Apresentação do local e suas características	26
3.1.1.	Localização Amostra 1 (Gruta do Morgado Superior)	26
3.1.2.	Localização das amostras 2,3,4,5,6 (Ruínas de Conimbriga) ..	29
3.2.	Caracterização recolha e acondicionamento das amostras	30
3.2.1.	Recolha das amostras na Gruta superior do morgado	31
3.2.2.	Recolha das amostras nas Ruínas de Conímbriga	34
3.3.	Preparação das amostras para análise mineralógica	35
3.4.	Preparação das amostras para análise em MEV e EDS	40
4.	Apresentação e análise de resultados	44
4.1.	Análise mineralógica	44
4.2.	Microscópio electrónico de varrimento (MEV)	48
4.2.1.	Amostra 1	48
4.2.2.	Amostra 2	48
4.2.3.	Amostra 3	50
4.2.4.	Amostra 4	51
4.2.5.	Amostra 5	53
4.2.6.	Amostra 6	54
4.3.	Apresentação e análise de resultados do ensaio (EDS)	55
4.3.1.	Amostra 1	55
4.3.2.	Amostra 2	57
4.3.3.	Amostra 3	59
4.3.4.	Amostra 4	61
4.3.5.	Amostra 5	66

4.3.6. Amostra 6	68
4.4. Apresentação e discussão de resultados.....	72
5. CONCLUSÃO	74
6. REFERÊNCIAS	78
6.1. Referências e Referências bibliográficas	78
6.2. Referências digitais.....	80

1. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1-Tipos de ligantes.....	4
Figura 1.2-Derivados da pedra de gesso relacionados com a temperatura (°C) (Coutinho, Materiais de Construção.....	8
Figura1.3 - Marcos históricos (http://www.euromortar.com , s.d.) (http://www.lhoist.com , s.d.)	14
Figura 1.4-- Carta geológica de Portugal (www.lneg.pt)	18
Figura 2.1 - Observando da lâmina ao microscópio petrográfico	22
Figura 2.2 - Dispositivo MEV Hitachi SU 1510	23
Figura 2.3 - Princípio de funcionamento do MEV	24
Figura 2.4-Hitachi SU-1510, MEV acoplado de equipamento EDS.....	25
Figura 3.1- Modelo topográfico do local (https://www.academia.edu , s.d.) ..	26
Figura 3.2- Classificação do clima na região (http://portaldoclima.pt/ , s.d.) .	27
Figura 3.3-Localização das Cavidades Cársicas dos Canteirões	28
Figura 3.4- Gruta do Morgado Superior	28
Figura 3.5 - Vista aérea das Ruínas de Conímbriga	29
Figura 3.6 - Redesenho de Pedro Alarcão e Virgílio H. Correia.....	30
Figura 3.7 - Localização das amostras de Conímbriga	31
Figura 3.8- Recolha de amostras na Gruta Superior do Morgado.....	33
Figura 3.9 -Amostras das Ruínas de Conímbriga	34
Figura 3.10 - Corte da amostra	35
Figura 3.11-Alisamento de uma das faces da esquírola	36
Figura 3.12- Despolimento de uma das faces da lâmina de vidro.....	36
Figura 3.13- Secagem da esquírola e da lâmina de vidro na estufa	37
Figura 3.14 - Colagem da esquírola à lâmina de vidro.....	37
Figura 3.15 - Secagem da esquírola	38
Figura 3.16 - Corte da esquírola com 1mm de espessura	38
Figura 3.17 - Desgaste e polimento da esquírola.....	39
Figura 3.18 - Aplicação de plastificante à lâmina delgada	39
Figura 3.19- Microscópio electrónico Leyca	40
Figura 3.20- Amostras 1 e 5 respectivamente.....	40
Figura 3.21 - Struers labotom e Struers Prestopress-3.....	41

Figura 3.22 - Struers Rotopol 21	42
Figura 3.23 - Microscópio Axiovert.....	42
Figura 3.24 - Disposição das amostras	43
Figura 3.25 - Sistema de revestimento Quorum Q150R	43
Figura 4.1- a,b,c,d,e,f,g,h,i,j, referentes a fragmentos da amostra 5.....	45
Figura 4.2- a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l, referentes a fragmentos da amostra 1	47
Figura 4.3 - Micrografia 1	48
Figura 4.4 - Micrografia 2.1, 2.2	49
Figura 4.5 - Micrografia 3.1 e 3.2	50
Figura 4.6 - Micrografia 4.1.1 e 4.1.2	51
Figura 4.7 - Micrografia 4.2.1 e 4.2.2	51
Figura 4.8 - Micrografia 4.2.3	52
Figura 4.9 - Micrografia 5.1 e 5.2	53
Figura 4.10 - Micrografia 6.1 e 6.2	54
Figura 4.11 - Micrografia 6.3	54
Figura 4.12 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 1	56
Figura 4.13 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.1	57
Figura 4.14 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.2	58
Figura 4.15 -Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.1	59
Figura 4.16 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.2	60
Figura 4.17 -Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.1	61
Figura 4.18 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.2	62
Figura 4.19 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.1	63
Figura 4.20 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.2	64

Figura 4.21 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.3	65
Figura 4.22 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.1	66
Figura 4.23 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.2	67
Figura 4.24 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.1	68
Figura 4.25 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.2	69
Figura 4.26 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.3	70
Figura 4.27 - Relação dos elementos presentes nas amostragem	72

2. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1-Rochas de Calcário.....	5
Tabela 2.1 - Distinção entre capacidade do olho humano comparado com o MEV	24
Tabela 3.1- Localização e datação amostras estudadas. (www.conimbriga.pt)	31
Tabela 4.1 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 1	55
Tabela 4.2 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.1	57
Tabela 4.3 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.2	58
Tabela 4.4 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.1	59
Tabela 4.5 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.2	60
Tabela 4.6 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.1	61
Tabela 4.7 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.2	62
Tabela 4.8 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.1	62
Tabela 4.9 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.2	63
Tabela 4.10 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.3	64
Tabela 4.11 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.1	66
Tabela 4.12 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.2	67
Tabela 4.13 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.1	68

Tabela 4.14 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.2	69
Tabela 4.15 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.3	70
Tabela 4.16 - Resumo dos elementos existentes nas amostras e respectivas quantidades.....	72

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral tema

A primeira utilidade das argamassas preadivinha-se entre os períodos do mesolítico e do neolítico, altura em que surgiram os primeiros sedentários. (kingery, Vandiver, & Prickett)

É imperativo salientar que a evolução das argamassas foi bastante impulsionada pelo domínio do fogo, que possibilitou conhecer os efeitos do calor nas matérias primas, como as argilas e calcários, que quando associados á água desenvolvem propriedades colantes.

Existe uma grande diversidade de argamassas antigas, muito provocada pelas diferentes matérias-primas de propriedades intrínsecas a cada região do planeta, o que torna a sua compreensão complexa.

Felizmente, foram deixados vestígios de património e cultura, sob a forma de monumentos que marcam a história de diversas civilizações. Devido ao conhecimento popular e os registos que se passaram entre gerações, aliado ao desenvolvimento tecnológico, é possível uma análise criteriosa de argamassas antigas que se revela um apoio à investigação actual e futura.

Assim refere a (Carta de veneza 1964) “A conservação e o restauro dos monumentos têm como objectivo salvaguardar tanto a obra de arte como as respectivas evidências históricas”

É com o intuito de preservar a história que se classifica o restauro neste âmbito como um tipo de operação altamente especializada, onde a escolha dos materiais deve obedecer a diferentes critérios para uma sinergia entre os materiais existentes e os materiais a aplicar, criando condições para um bom trabalho de conservação da história da humanidade.

1.2. Principais objectivos a atingir

O objectivo deste trabalho é recolher e analisar argamassas antigas criando registos das características e eventuais patologias deste tipo de argamassas.

A análise foi feita para dois casos de estudo, que posteriormente foram analisadas com apoio dos laboratórios do ESTG/IPVC e UTAD.

Com base nas amostras, pretende-se adquirir informação sobre a sua constituição física, química e mineralógica. A informação poderá servir de apoio no fabrico de argamassas, que proporcionarão uma correcta conservação do património contrariando a deterioração da identidade cultural do monumento.

1.3. Definição de argamassas tradicionais

Uma argamassa tradicional pode ser explicada como uma combinação de um ou mais ligantes, agregado de pequena ou média dimensão e água de amassadura. No caso de argamassas industriais podem ser adicionados aditivos e adjuvantes com o objectivo de melhorar ou modificar as propriedades das argamassas.

As argamassas possuem diversas finalidades, de entre a maioria das utilizações enumeram-se, a habilidade de manter unidos os materiais, a sua capacidade protectora das condições climatéricas, o acabamento suave em superfícies, e o efeito de isolante térmico que confere nas alvenarias.

1.3.1. Ligantes

De uma forma simples, pode-se definir os ligantes como produtos com as propriedades de ganhar presa e endurecem com o factor tempo. Essas propriedades podem ser utilizadas para interligar outros produtos destintos como os agregados, que quando em contacto com água, modificam a sua estrutura química e adquirem presa. No caso das argamassas podem ser

constituídas por um ou mais ligantes, sendo que na condição de conter mais do que um ligante, são designadas por argamassas bastardas.

Os ligantes podem-se classificar como:

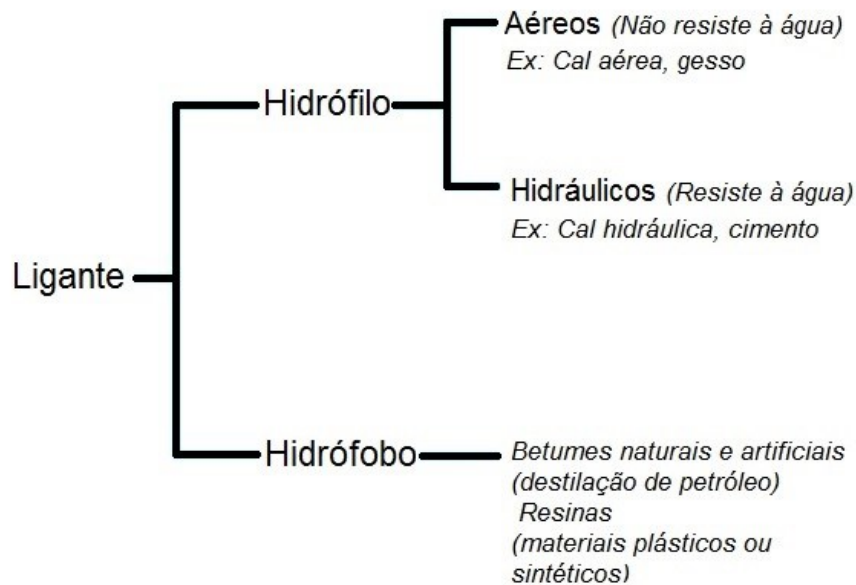


Figura 1.1-Tipos de ligantes

1.3.2. Ligantes de cal

A cal pode ser definida como “material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas, sob as quais podem aparecer o óxido de cálcio e ou de magnésio (CaO e MgO) e ou hidróxidos (Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2)”. (NP EN 459-1, 2005)

Geralmente a cal é produzida pela cozedura de matérias-primas minerais á base de cálcio, embora exista cal à base de magnésio. Em alguns países, conchas, corais e outras fontes de cálcio são utilizados de forma razoável para fabrico de argamassas.

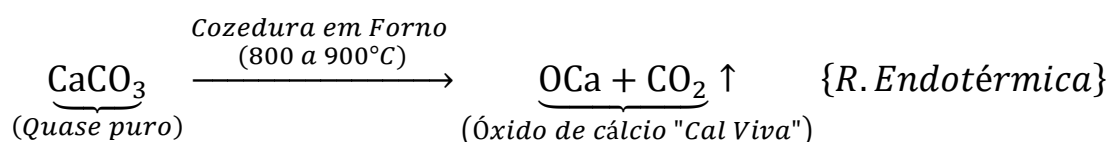
O calcário e a argila coexistem em simbiose na natureza, sendo que a percentagem de argila define o tipo de calcário.

Tabela 1.1-Rochas de Calcário

Tipo de Rocha Calcária	Elementos químicos	% de Argila
Calcário	CaCO ₃	~ 0%
Calcário margoso	CaCO ₃ + argila	(<50%)
Marga calcária argila	CaCO ₃ + argila	(>50%)

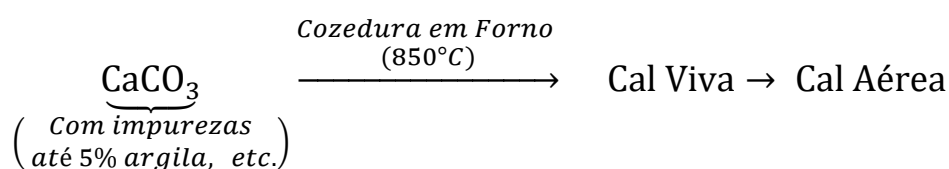
Os principais elementos químicos que constituem estas rochas naturais são o cálcio, o silício, o alumínio, o ferro e o oxigénio. A natureza da rocha, a cozedura, e as diferentes porções de Silício, alumina e ferro irão diferenciar a composição da cal.

De uma forma simplificada o cozimento do calcário puro forma o óxido de cálcio “cal viva” que compõe a cal aérea, relativamente ao calcário margoso quando cozido forma a cal mais ou menos hidráulica dependendo da percentagem de argila.



1.3.2.1. Cal aérea

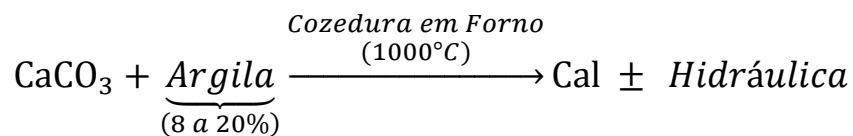
As cals aéreas advêm de diferentes teores de argila nos calcários, bem como algumas porções entre 1 e 5% de outros elementos. Deste modo considera-se a cal aérea cálcica, quando é maioritariamente composta por óxido de cálcio ou dolomítica, quando partilha porções significativas de óxido de cálcio e óxido de magnésio. (Coutinho)



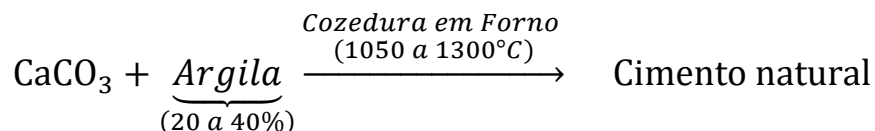
1.3.2.2. Cal hidráulica

A cal hidráulica é produzida através de rocha calcária (CaCO_3), com percentagem de argila entre 8 a 20%. A sua concepção engloba varias fases de cozedura. Entre os 500 a 700°C, dá-se a desidratação da argila, aos 850°C, verifica-se a decomposição do calcário, enquanto aos 1000°C, parte do óxido de cálcio reage com a Silício, a alumina e o óxido de ferro provenientes da argila, formando os silicatos e os aluminatos de cálcio, originando a cal+/- hidráulica, produto que tanto endurece no ar como na água.

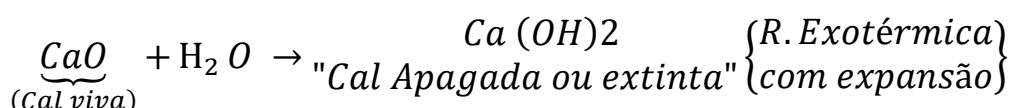
É necessário extinguir a cal hidráulica de modo a hidratar o óxido de cálcio que não reagiu. Desse modo, no processo de endurecimento hidráulico os silicatos e aluminatos de cálcio endurecem na presença da água e a cal hidratada endurece por reacção com o dióxido de carbono “carbonatação”.



A obtenção do cimento é idêntica ao fabrico da cal hidráulica, mas a presença de quantidades mais elevadas de Silício e alumina aliados a temperaturas mais elevadas modificam integralmente os materiais dando origem ao clínquer.



O produto obtido pela cozedura dos calcários é sobretudo óxido de cálcio, que em reacção com a água, origina o hidróxido de cálcio, ou seja, a cal apagada ou extinta. A extinção pode ser feita por aspersão (extinção da cal viva com aspersão de água estritamente necessária à hidratação) ou por imersão (extinção da cal mergulhando a cal viva em água resultando uma pasta).



1.3.3. Gesso

O gesso é uma substância produzida a partir do mineral relativamente abundante na natureza, a pedra de gesso ou a Gipsite, composto basicamente de sulfato de cálcio hidratado. O gesso tem o potencial para realizar de forma muito satisfatória, qualquer trabalho que relacione argamassas, no entanto, as argamassas de gesso naturalmente não são recomendadas para o trabalho externo, exceptuando que se situem em climas secos e que sejam complementados por algum tipo de recobrimento de protecção. A sua utilização preferencial de ser em ambiente interior, sem excessivas características húmidas. A argamassa de gesso é um ligante aéreo que enrijece pela actividade química do CO₂ da atmosfera, desidratando totalmente ou parcialmente a pedra de gesso (Gipsite).

A desidratação da Gipsite é feita através da cozedura em fornos especiais, obtendo diferentes compostos associados a diferentes temperaturas de cozedura. Conforme explicado por (Coutinho, Joana de Sousa, 1999)

No intervalo de temperatura entre os 130 e 160°C o composto perde água dando origem ao gesso de Paris, gesso mais solúvel na água do que o gesso bruto sendo utilizado para estuque ou gesso.

Já entre os 170 e 280°C, a cozedura dá origem à anidrite solúvel, classificada como gesso rápido, dada a sua capacidade de ganhar presa rapidamente no contacto com água.

Em temperatura entre 400 e 600°C origina-se uma anidrite insolúvel, que ao contrário da anterior mencionada não ganha presa quando em contacto com água. O pico de temperatura ao qual a cozedura ainda é viável, situa-se perto dos 1100°C, temperatura em que o gesso formado é uma anidrite que necessita pouca quantidade de água para ganhar presa. Apesar da reacção ser mais lenta que as anteriores, isto confere a este composto uma resistência e compacidade superior, minorando a vulnerabilidade à água em comparação com o gesso de Paris, o tempo de presa é significativo, no entanto pode ser melhorado com recurso a catalisadores como o sulfato de alumínio. (Coutinho)

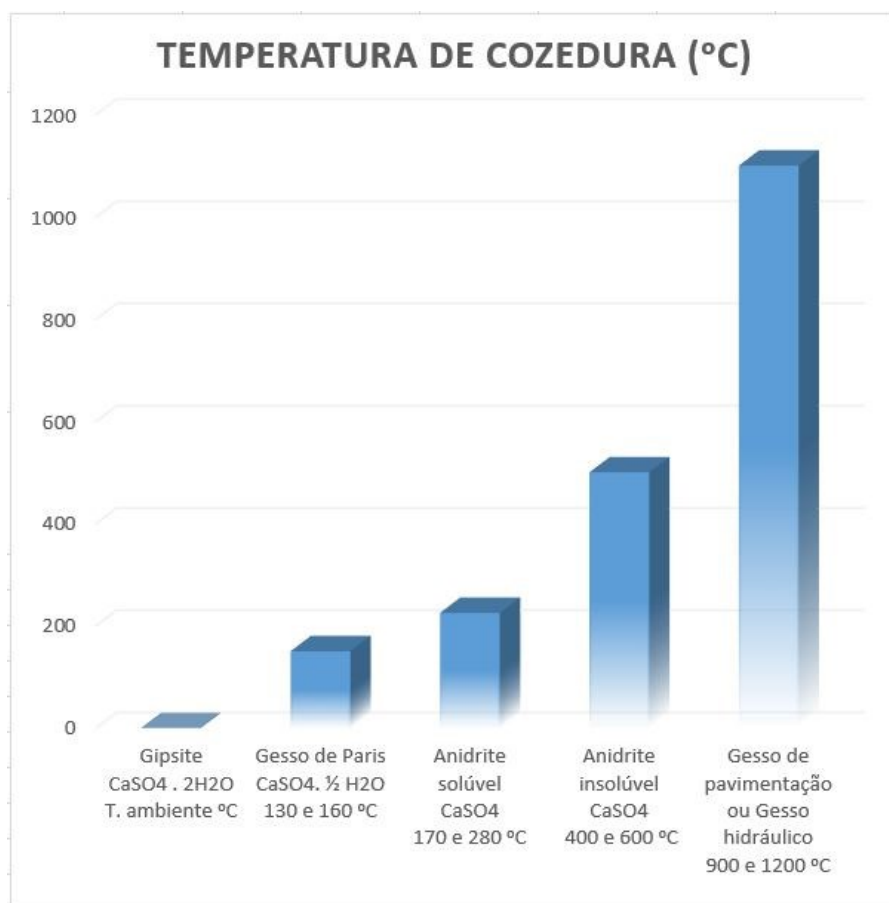


Figura 1.2-Derivados da pedra de gesso relacionados com a temperatura (°C) (Coutinho, Materiais de Construção)

1.3.4. Agregados

Os agregados podem ser de origem natural, como os agregados naturais (por exemplo as areias, os godos) ou os agregados obtidos por britagem de materiais naturais (por exemplo as britas, areias britadas). Existem também agregados artificiais que são obtidos industrialmente com vista à produção de argamassas com determinadas propriedades, por exemplo a argila ou xisto expandidos).

Simplificadamente, os agregados naturais advêm da desfragmentação das rochas. Da perspectiva elementar química, distinguem-se as areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e as areias calcárias. (Coutinho, Joana de Sousa, 1999)

É imperativo afirmar que os agregados influenciam directamente as características das argamassas. Nesse âmbito o (Prof. Fernando Branco, 2009) definiu alguns dos aspectos mais importantes a ter em conta relativamente aos agregados.

Tais requisitos dos agregados são:

- **Descrição petrográfica**
 - ✓ Identificar o tipo de rocha (Rochas ígneas ou magmáticas; sedimentares, metamórficas);
 - ✓ Composição mineralógica (quartzo, feldspatos, calcite, dolomite, etc.);
 - ✓ A dimensão dos grãos constituintes principais, a textura, a anisotropia, a porosidade, vesicularidade e a cor;
 - ✓ O estado de alteração e a mineralização dos materiais.

- **Propriedades geométricas**

- ✓ Granulometria (filler, fino, grosso, extenso e enrocamento);
- ✓ Forma;
- ✓ Percentagem de superfícies partidas e esmagadas;
- ✓ Teor de conchas;
- ✓ Qualidade dos finos.

- **Propriedades físicas**

- ✓ Massas volúmicas e absorção de água;
- ✓ Baridades.

- **Propriedades mecânicas**

- ✓ Resistência ao desgaste por atrito;
- ✓ Resistência á fragmentação;
- ✓ Resistência ao polimento acelerado.

- **Propriedades térmicas e de meteorização**

- ✓ Resistência ao gelo- degelo;
- ✓ Sonnenbrand dos basaltos;
- ✓ Resistência ao choque térmico;
- ✓ Afinidade dos agregados grossos aos ligantes betuminosos;
- ✓ Retracção por secagem;
- ✓ Reactividade álcalis-silica.

1.3.5. Água de amassadura

Uma correcta hidratação promove uma forte ligação entre as partículas constituintes dos ligantes e dos agregados. As águas de amassadura devem evitar a presença de impurezas de origem orgânica, ou outros elementos que influenciem directamente de forma física ou química as reacções de hidratação do ligante no fabrico de argamassas.

As águas naturais provenientes de escorrimentos superficiais ou de poços ou minas subterrâneas, contêm pequenas variações composicionais, o que significa que não terão influencia significativa no produto final, contudo deve-se evitar águas ricas em sais, tais como águas de mar ou águas minerais, pois a presença de sais nas argamassas promove as eflorescências e consequentes variações de hidratação que levam à retracção, empolamento e consequente destacamento.

No fabrico das argamassas a água tem várias funções, no entanto as mais significativas são a hidratação do ligante e a lavagem dos agregados expondo a rugosidade do agregado que permitirá uma boa aderência ao entre partículas. Deve-se igualmente ter em atenção a quantidade de água utilizada na hidratação, pois os efeitos negativos de água em carência serão inferiores aos danos dos efeitos de água em excesso que será pela porosidades e consequente retracção das argamassas já endurecidas.

1.3.6. Aditivos

Conforme (António Santos Silva, 2013), os aditivos contêm a finalidade de melhorar ou adquirir novas propriedades especiais. Os aditivos podem ser de origem orgânica ou mineral. No caso dos aditivos de origem orgânica podem ser desde ovos, queijo, palha ou cabelo a sumos de frutas, sangue, cerveja, álcool, xaropes, cêra de abelhas e óleos.

Os aditivos de origem mineral são especialmente adicionados às argamassas aéreas de modo a conferir características hidráulicas e são igualmente designados de pozolânicos. Os aditivos pozolânicos podem ser de origem, natural ou artificial:

Os pozolânicos naturais são de origem vulcânica podendo ser rochas ou cinzas, enquanto os pozolânicos artificiais são basicamente cerâmicas, tijolos ou outros produtos minerais calcinados partidos ou moídos.

1.4. Enquadramentos histórico das argamassas e sua caracterização

1.4.1. Primeiras argamassas

Até á data, a argamassa mais antiga divulgada encontra-se na Galileia, Israel perto Yiftah'el e tem a notabilidade de 10.000 anos de idade. Alguns dos exemplos mais antigos construídos remonta á 5.000 anos para o tempo da Mesopotâmia, exemplos que nos dias de hoje permanecem sob a forma duradoura de ruínas de alvenaria. Ao longo da história foram surgindo vários tipos de argamassas. (Arshad Ahmed and John Sturges, 2015).

1.4.2. Argamassas de cal

Durante milhares de anos, em todo o planeta, as argamassas de cal beneficiaram de muitas buscas e desenvolvimentos que foram passados ao longo de gerações. Adições como pozolanas, gordura vegetal e animal, conchas, ossos e dentes, óleo de baleia, foram usadas de forma a conseguir uma melhor trabalhabilidade ou finalidade da argamassa. Sangue animal foi igualmente utilizado para dar cor á cal para pinturas rupestres e outras.

Os egípcios usavam argamassas de cal com a literatura á cerca de 2000 anos. As argamassas de cal eram igualmente reconhecidas por endurecer e ganhar força com a evaporação da água, no entanto, com a experimentação, os artesãos antigos perceberam que uma cal muito pura tinha menos qualidade do que uma que tinha algumas impurezas. Nesse âmbito a utilização da cal foi evoluindo a sua aplicação nas diversas áreas.

No quadro seguinte enumeram-se alguns exemplos da sua heterogeneidade e percurso ao longo da história.

Figura1.3 - Marcos históricos (<http://www.euromortar.com>, s.d.) (<http://www.lhoist.com>, s.d.)

10.000 A.C.	Evidências encontradas em Yiftah'el mostram que Cal foi produzido em fornos rudimentares;
3000 A.C.	Os egípcios pintavam peles com cal e utilizaram calcário para construir uma das maravilhas do mundo: a Pirâmide de Quéops, com 137 metros de altura.
2800 A.C – 1000 D.C.	Os celtas utilizavam cal para fertilizar os campos. Cores de cal demonstradas nos afrescos gregos.
221-206 A.C.	Construção da Grande Muralha da China, usando uma argamassa de cal. No entanto, de acordo com cientistas chineses há evidências de que o aditivo utilizado foi o arroz pegajoso, fazendo uma argamassa resistente e forte ao exposição climática tempo.
100 A.C.	Os romanos promoveram grande desenvolvimento nas argamassas e difundiram esse conhecimento em todo Império Romano.
753 A.C. – 535 D.C.	Afrescos romanos continham cores de cal, tal como os edifícios. As mulheres pintavam seus cabelos de vermelho claro com cal viva.
400 D.C. – 1100 D.C.	Os alquimistas descobriram as propriedades cáusticas da cal e criaram um sabão com base em cinza de madeira.
1756 - 1759	Farol de Eddystone, Plymouth, Inglaterra. trabalho de pesquisa de John Smeaton em Cal Hidráulica.
1300 D.C. – 1800 D.C.	A cal foi amplamente utilizada em toda a Europa como gesso e pintura decorativa, além de ser o principal material de construção de casas.

1820	Louis Vicat (França), na sequência dos trabalhos de Smeaton, continuou o estudo da Cal Hidráulica. Ele também é conhecido, devido ao aparelho de ele inventou para determinar o tempo de endurecimento do cimento, medindo a pressão de uma agulha especial (agulha de Vicat).
1824	John Aspdin, patenteou o cimento Portland. A designação Portland é devida à semelhança de cores do ligante de cimento com a cor da pedra calcária de Portland Island
1893	A primeira patente sobre o fabrico e aplicação de mistura seca foi publicado na Alemanha.
1920	Produzida primeira mistura seca numa fábrica na Alemanha (final de 1930 no Reino Unido).
1989	Publicação da importante directiva europeia de produtos de construção, DCP (Directiva 89/106 / CEE).

1.4.3. Argamassas de gesso

Recentemente, descobertas arqueológicas, evidenciaram que em 8000 A.C, nas ruínas da Síria e da Turquia argamassas em gesso e cal foram utilizadas como suporte em afrescos decorativos, na realização de pisos e mesmo no fabrico de recipientes.

Nas ruínas da cidade de Jericó, em 6000 A.C., foram encontrados vestígios de gesso em moldes.

A construção da pirâmide de Quéops, rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2.800 A.C. foi aplicado gesso nas juntas de assentamento entre blocos de cerca de 16 toneladas que constituem o monumento, tornando-as estanques.

Theofraste discípulo de Platão e Aristóteles que viveu entre séc. IV e III documentou a existência de gesseiras no Chipre, na Fenícia e na Síria, e indicava que o gesso era utilizado, como argamassa para a ornamentação, nos afrescos, nos baixos-relevos e na confecção de estátuas.

Em África, os bárbaros construíram as barragens e canais, com argamassas á base de gesso de elevada resistência, que garantiram por muitos séculos a irrigação de plantações.

Após a Invasão Romana, em França iniciou-se a reconstrução utilizando gesso e madeira. Igualmente nessa época, o gesso foi amplamente utilizado na região parisiense na concepção e decoração de sarcófagos.

Em 1292, uma carta real indicava a exploração de 18 jazidas de pedra de gesso na região de Paris, devido á sua ampla utilização no fabrico de argamassas, na colocação de placas de madeira, no fecho de juntas e na construção de chaminés monumentais.

A generalização da utilização do gesso na construção civil em França, deve-se a uma lei de Luiz XIV, promulgada em 1667.

O ilustre químico Lavoisier, em 1768, apresentou o primeiro estudo científico dos fenómenos na preparação do gesso. Anos mais tarde, outros autores como Van`tHoff e sobretudo Le Châtelier, elaboraram explicações científicas para a desidratação da Pedra de gesso ou Gibbsite. (<http://www.lhoist.com>, s.d.)

1.5. Contextualização das argamassas antigas em Portugal

Os agregados utilizados ao longo da história em Portugal, foram areias de rio ou de mar. Agregados britados, de calcário, granito, basalto, ou mármore também eram utilizados para fabrico de argamassas. Em Portugal Continental, essencialmente existem agregados provenientes de calcários ou granitos, enquanto nos arquipélagos dos Açores e da Madeira, os agregados caracterizam-se pela sua origem vulcânica.

Segundo (Construção Magazine, nº 25, Maio de 2008) “Ao longo dos tempos tem-se estabelecido uma estreita relação entre a geografia do território e as construções dos seus habitantes.”

Neste âmbito e com recurso á carta geológica de Portugal continental e ilhas, preadivinha-se a constituição de algumas argamassas, através da caracterização das bacias sedimentares que constituem cada uma das regiões.

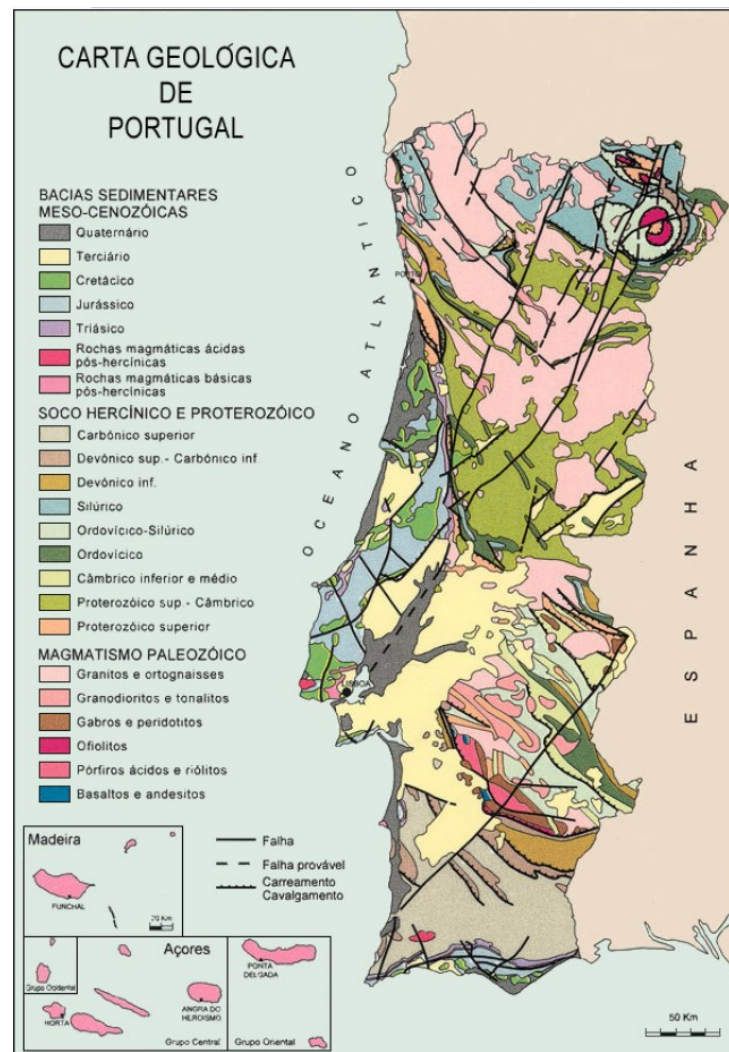


Figura 1.4-- Carta geológica de Portugal (www.lneg.pt)

O fabrico e o domínio da cal foram transversais a todos os povos da antiguidade, dispersos um pouco por todo o lado, porém o seu grande desenvolvimento e utilização na construção, ocorreu durante o Império Romano.

Segundo vários autores, as primeiras argamassas a base de cal e gesso chegaram a Portugal pelas mãos dos romanos 218 a.C. durante a Segunda Guerra Púnica. O imenso desenvolvimento dos Romanos, e a sua grande vertente para a arquitectura, permitiu espalhar o conhecimento e a arte do manuseamento da cal aérea na construção e elevou as argamassas e as suas potencialidades a um nível superior de compreensão.

Porém com a invasão da Península Ibérica por parte dos árabes, novos conceitos no que diz respeito às argamassas foram introduzidos. Estes desenvolveram novos aditivos e dotaram as argamassas de melhorias significativas que permitiram fossem aplicadas em juntas, estuques e rebocos em interiores e exteriores e chegassem até aos nossos dias sob a forma de Ruínas de vilas, cidades, estradas e locais de culto, encontrados um pouco por toda a parte de Portugal. Em Portugal não é corrente o uso de pozolanas, embora existam pozolanas naturais provenientes dos Açores.

Em Portugal, a cal constitui uma parte integrante na história do Património. O fabrico da Cal Hidráulica iniciou-se em 1891, com a fundação da fábrica de Cimentos da Maceira, (<http://www.secilargamassas.pt/>, s.d.) no entanto diversos fornos de produção artesanal sempre fizeram parte integral produção de cal em Portugal.

Em 1997 ainda havia 6 ou 7 fornos tradicionais em laboração no Alentejo e Algarve. Eram fornos intermitentes (pouco rentáveis) e em 2007 já só se encontravam 2 (Montes Claros) que, entretanto, deixaram de laborar. O combustível escolhido assegurava (pela experiência) temperaturas adequadas de cozedura. A madeira utilizada era mato (verde, para ser mais lento), ramos de eucalipto, oliveira, sobro e azinho.

A matéria prima utilizada eram resíduos da indústria de extracção da pedra, no caso do Alentejo era muito usado o mármore. O tempo era doseado pelos caleiros, que sabiam pela experiência, quando a pedra estava cozida, em função do tamanho da pedra, tempo de cozedura e temperatura. (Veiga, Maria Rosário)

2. ENSAIOS UTILIZADOS

2.1. Análise Petrográfica

A Geologia é uma ciência que se dedica a estudar fenómenos associados à origem e dinâmica do nosso planeta. A Petrologia é uma das múltiplas disciplinas da Geologia que estuda os mecanismos físicos, químicos e biológicos que estão na origem e transformação das rochas. A Petrologia apoia-se, muitas vezes, em estudos petrográficos, cujo propósito é a descrição das rochas, a análise das suas características estruturais, texturais, mineralógicas e químicas.

De acordo com as condições de formação dos minerais, as rochas podem ser classificadas como ígneas (formadas a partir de erupções e processos ligados ao magma), metamórficas (originadas no interior do planeta, sendo modificadas pela temperatura e pressão) e sedimentares (cuja componente predominante são os detritos de rochas preexistentes, resultantes sobretudo da alteração e erosão que actuaram sobre essas mesmas rochas). Desta forma, considera-se que a observação microscópica de lâminas delgadas das rochas é um instrumento crucial na petrografia.

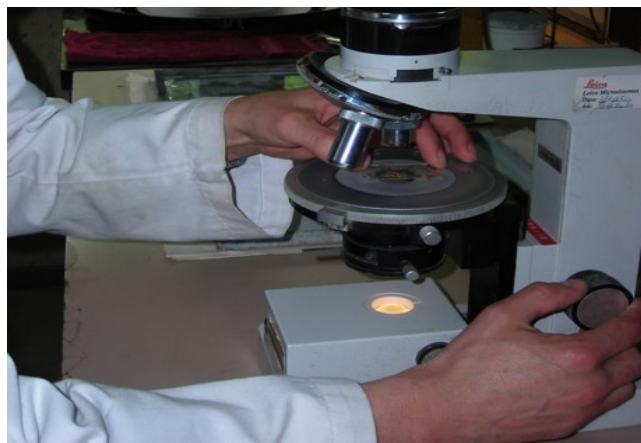


Figura 2.1 - Observando da lâmina ao microscópio petrográfico

2.2. Microscópio electrónico de varrimento (MEV)

O microscópio electrónico de varrimento (MEV) é um equipamento de ampliação de alta resolução que permite a Análise Microestrutural de uma amostra. O MEV utiliza um feixe focalizado de electrões de alta energia para gerar uma variedade de sinais na superfície das amostras sólidas. Os sinais que derivam de interacções electrão-amostras, revelam informação sobre a amostra incluindo morfologia externa (textura), composição química, e a estrutura cristalina e a orientação dos materiais que constituem a amostra. Na maioria das aplicações, os dados são recolhidos ao longo de uma área seleccionada da superfície da amostra.

Uma imagem de duas dimensões é gerada indicando variações espaciais nestas propriedades. As áreas variam entre cerca de 1 cm e 5 μm de largura, podendo ser trabalhada em modo de digitalização ou utilizando técnicas convencionais de MEV. O MEV também é capaz de realizar análises de localizações de pontos seleccionados sobre a amostra; esta abordagem é especialmente útil na determinação qualitativa composições químicas (usando Espectroscopia de energia dispersiva - EDS). O aparelho utilizado na microscopia está apresentado Figura 2.2 .



Figura 2.2 - Dispositivo MEV Hitachi SU 1510

2.2.1. Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do MEV consiste na produção de electrões na parte superior da coluna, acelerado para baixo e passado através de uma combinação de lentes e aberturas para produzir um feixe focado de electrões que atinge a superfície da amostra. A amostra é montada sobre um patamar dentro de uma câmara, que posteriormente irá operar em vácuo aplicado por bombas de extracção. A posição do feixe de electrões na amostra é orientada por rolos que permitem que o digitalizar o feixe através da superfície da amostra. Esta varredura do feixe, permite a recolha da informação sobre uma área definida da amostra. Figura 2.3

Tabela 2.1 - Distinção entre capacidade do olho humano comparado com o MEV

Microscópio	Resolução	Ampliação	Fonte de luz	Amostra
Olho nú	10 μ m		Luz visível	Material denso
MEV	0,01 μ m	100-600,000x	Electrões	Material denso

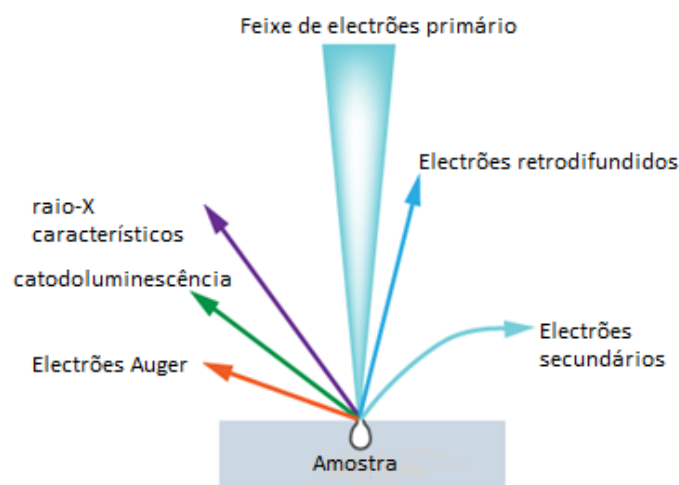


Figura 2.3 - Princípio de funcionamento do MEV

2.3. Espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

A interacção do feixe de electrões com a amostra produz uma variedade de emissões, incluindo raios-X. A energia dispersiva detectada é utilizada para separar os raios-X característicos de diferentes elementos num espectro de energia, que com a ajuda do software do sistema será usado para analisar o

espectro de energia, com o intuito de determinar a abundância de elementos específicos. O sistema EDS pode ser utilizado para encontrar a composição química do material á escala de μm , ajuda a criar mapas da composição dos elemento sobre uma área muito mais ampla de varredura. Juntos, esses recursos fornecem informações sobre a composição de uma ampla variedade de materiais.



Figura 2.4-Hitachi SU-1510, MEV acoplado de equipamento EDS

2.3.1. Princípio de funcionamento

Sistemas de EDS são tipicamente integrados no MEV. Os sistemas incluem um detector sensível de raio-X, um sistema líquido de azoto para o arrefecimento e um software para recolher e analisar os espectros de energia. O detector é montado na câmara de amostras do instrumento principal localizado na extremidade no braço longo do aparelho. Os detectores comuns operam a baixas tensões para melhorar a sensibilidade, mas os recentes detectores de silício operam em relações de contagem mais altas sem arrefecimento de azoto líquido. O detector de EDS contém um cristal que absorve a energia dos raios-X de entrada por ionização que depois é convertido em impulsos eléctricos que correspondem aos raios-X característicos do elemento Figura 2.4 .

3. CASOS DE ESTUDO

3.1. Apresentação do local e suas características

3.1.1. Localização Amostra 1 (Gruta do Morgado Superior)

As cavidades Cársicas dos Canteirões, localizadas no concelho de Tomar (Santarém, Portugal) providenciaram estratigrafias e depósitos votivos que se enquadram desde o período Neolítico Antigo cardial até ao final da Idade do Bronze. A região pertence ao distrito de Santarém, Centro e sub-região do Médio Tejo. Para uma melhor interiorização sobre o procedimento de recolha, bem como todos os aspectos inerentes a escavação, foi necessário a deslocação ao local de estudo durante duas semanas, foi feito um acompanhamento e interacção directa com as escavações e recolha das amostras propriamente ditas. Tratou-se de um processo bastante trabalhoso e meticuloso dadas as várias equipas disciplinares no local, a presença de ossos humanos no local fez com que o processo de extracção fosse moroso e meticuloso.

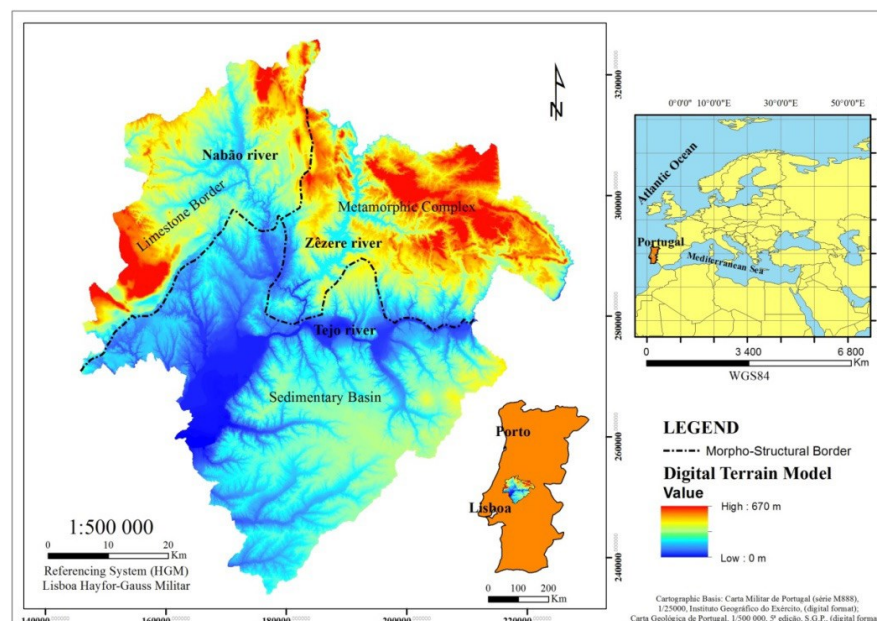


Figura 3.1- Modelo topográfico do local (<https://www.academia.edu>, s.d.)

Relativamente ao clima, constata-se que é temperado, mas com bastante propensão a alterações.

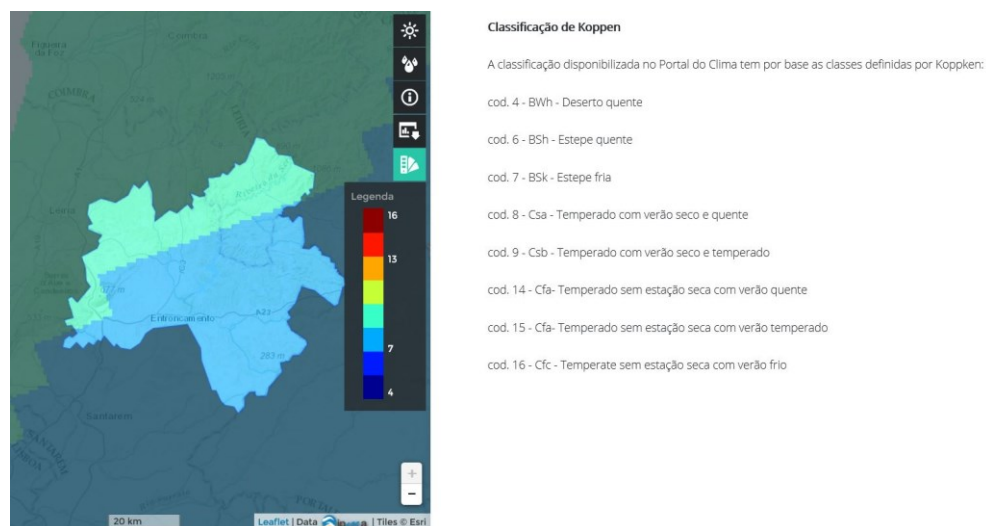


Figura 3.2- Classificação do clima na região (<http://portaldoclima.pt/>, s.d.)

O caso concreto de estudo identifica-se pela “A Gruta do Morgado” e está localizada nos Canteirões do Nabão distando cerca de 10 km de Tomar.

Situa-se junto à Ribeira do Fetal, num meandro extremamente acentuado do rio Nabão e faz parte de um conjunto de outras grutas suas vizinhas já exploradas no vale do Nabão (Gruta do Caldeirão, da Gruta do Cadaval, da Gruta dos Ossos e Gruta de N.ª Sr.ª das Lapas) A entrada é ampla e orientada a Nordeste – Sudoeste. Todas estas cavidades demonstram ocupação humana em termos de tumulação que cronologicamente se situam entre o Neolítico Antigo Cardial e a Idade do Bronze Médio. Há registos que apontam para crianças, mulheres e homens que se dividem num espaço temporal que recua até 7000 a.C.

Na Figura abaixo apresentada ilustra a localização das Cavidades Cársicas dos Canteirões, onde podemos constatar assinalado pelo número 1 a sul do mapa, a Gruta do Caldeirão, no número 2, ligeiramente mais a norte, a Gruta do Cadaval, no número 3 a Gruta dos Ossos relativamente ao número 4,

corresponde a Gruta de N^a Sr^a das Lapas e por fim o nosso caso de estudo com o número 5, a Gruta do Morgado. (<https://www.academia.edu>, s.d.)

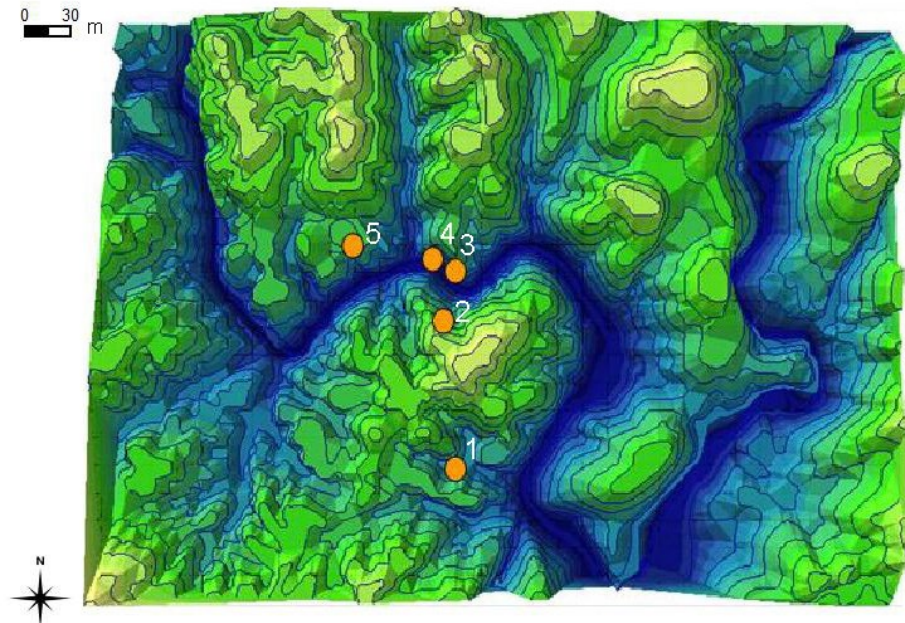


Figura 3.3-Localização das Cavidades Cársicas dos Canteirões



Figura 3.4- Gruta do Morgado Superior

Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Instituto Politécnico de Viana do Castelo Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

3.1.2. Localização das amostras 2,3,4,5,6 (Ruínas de Conimbriga)

Localizada no concelho e freguesia de Condeixa-a-Nova, lugar de Condeixa-a-Velha, Conímbriga, é a maior e mais bem conservada estação arqueológica romana de Portugal. Delimita-se a sul pelo rio dos mouros, a norte por um vale e a nascente pela extensa mata da Bufarda.

Conímbriga foi um antigo aglomerado populacional em que as provas arqueológicas divulgam que Conimbriga foi povoada, entre o séc. IX a.C. e Séc. VII-VIII, d.C. Aquando da chegada dos Romanos, no séc. I a.C., Conimbriga era um habitado em expansão, mas com a profunda crise política e administrativa do Império Romano, Conimbriga padeceu de várias invasões bárbaras, em que particularmente os Suevos, em 465 e 468, tomaram e saquearam parcialmente a cidade, conduzindo ao longo dos tempos ao seu abandono por parte de suas gentes. Actualmente, Conimbriga é reconhecida como monumento nacional, definida por decreto em 1910. (<http://www.conimbriga.gov.pt/portugues/ruinas.html>)



Figura 3.5 - Vista aérea das Ruínas de Conimbriga

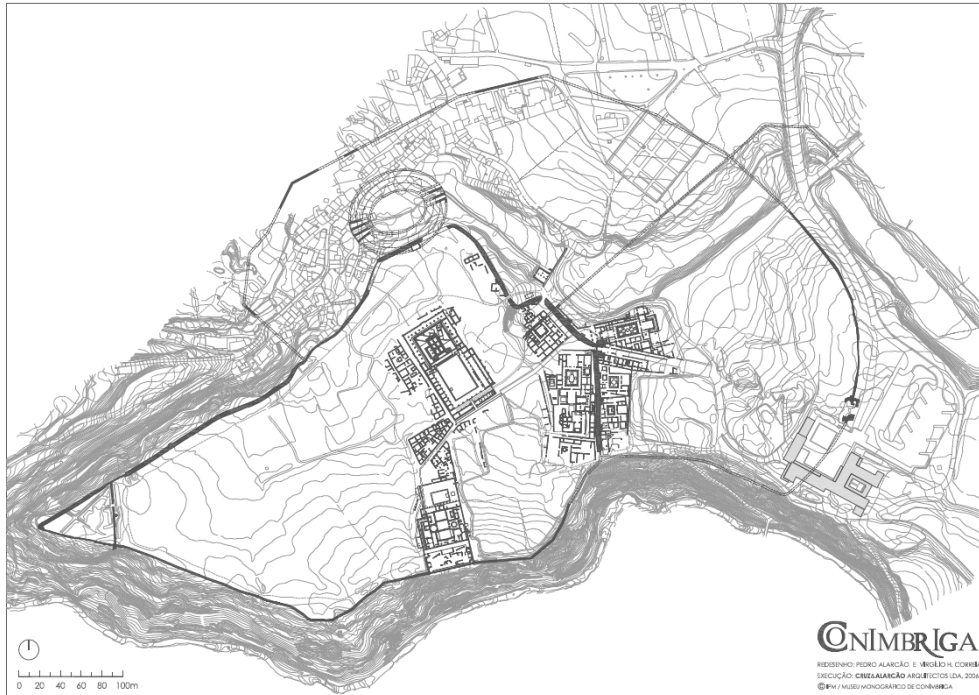


Figura 3.6 - Redesenho de Pedro Alarcão e Virgílio H. Correia

3.2. Caracterização recolha e acondicionamento das amostras

Conforme anteriormente referido, a amostragem foi efectuada em duas localizações distintas: Gruta superior do Morgado e Ruínas de Conímbriga. Relativamente às ruínas de Conímbriga em 131 A.C, foi romanizada e sujeita a diversas ocupações e modificações até ao século VII seculo em que Conímbriga passou a ser um local vazio, sem habitantes e acabou por se tornar num lugar esquecido.

Na Figura 3.7 apresenta-se as localizações de um conjunto de amostras de Conímbriga, relativamente à Figura 3.6 apresenta a planta onde se pode ver o local da recolha das amostras.

Devido ao facto de as amostras provenientes de Conímbriga terem sido facultadas pelo Director do Museu De Conímbriga, a informação relativa á

extracção, é limitada e encontra-se explicitada na Tabela 3.1- Localização e datação amostras estudadas. (www.conimbriga.pt).



Sample nº	Type of mortar	Location	Chronology	Building ref.s
1	Surface mortar	Forum's criptoportico, W wing pillar	Flavian period (c. 80 AD); possible later reparations	Alarcão e Etienne 1977.
2	Surface mortar	Forum's criptoportico, N wing wall	Flavian period (c. 80 AD); possible later reparations	Alarcão e Etienne 1977.
3	Foundation mortar	Forum 3 aisled basilica	Claudio-neronian period (40-60 AD)	Alarcão e Etienne 1977.
4	Preparation opus signinum	South Baths natatio	Flavio-trajanic period (c. 80-100 AD)	Alarcão e Etienne 1977, Correia e Reis 2000.
5	Surface opus signinum	South Baths natatio	Flavio-trajanic period (c. 80-100 AD)	Alarcão e Etienne 1977, Correia e Reis 2000.
6	Surface opus signinum	Fuilonica at the Insula of the fallic vase	Unknown (II c. AD ?)	Alarcão e Etienne 1977, Correia 2013.
7	Opus signinum pavement	Caldarium of the provate baths of the house of Cantaber	Unknown (III c. AD ?)	Correia e Reis 2000. Correia 2013.
8	Surface mortar	Vestibule of the house of the fountains	II c. AD or early to mid- IIIc.	Correia 2013.
9	Painted surface mortar	Room of the deer hunt in the house of the fountains	II c. AD or early to mid- IIIc.	Correia 2013.
10	Opus signinum pavement	Building in sector G17 (exc. 2016)	III – IV c. AD (?)	Unpublished
11	Foundation mortar	Building in sector G17 (exc. 2016)	III – IV c. AD (?)	Unpublished
12	Painted surface mortar	Building in sector G17 (exc. 2016)	III – IV c. AD (?)	Unpublished

Figura 3.7 - Localização das amostras de Conimbriga

Tabela 3.1- Localização e datação amostras estudadas. (www.conimbriga.pt)

Amostra	Sample nº	Tipo de amostra	Localização	Cronologia
A1		Argamassa à superfície	Gruta superior do Morgado	7000 - 700 AC
A2	9	Painted surface mortar	Room of the deer hunt in the house of the fountains	II c. AD or early to mid- IIIc.
A3	8	Surface mortar	Vestibule of the house of the fountains	II c. AD or early to mid- IIIc.
A4	11	Foundation mortar	Building in sector G17 (exc. 2016)	III – IV c. AD (?)
A5	5	Surface opus signinum	South Baths natatio	Flavio-trajanic period (c. 80-100 AD)
A6	12	Painted surface mortar	Building in sector G17 (exc. 2016)	III – IV c. AD (?)

3.2.1. Recolha das amostras na Gruta superior do morgado

É importante salientar que para garantir uma amostragem significativa, a recolha das amostras, em duas localizações distintas, deveu-se á conjugação da transdisciplinaridade de investigadores das ciências da Vida, das Humanidades, da Terra, das Sociedades e das áreas das Tecnologias, com um objectivo comum, o conhecimento aprofundado e abrangente das actividades humanas no Vale do Nabão (Tomar, Portugal) e Ruínas de Conimbriga (Condeixa-a-Velha, antiga freguesia do concelho de Condeixa-a-Nova).

No decorrer do trabalho de campo Todos estes fragmentos foram lavados, marcados e separados individualmente com a respectiva ficha descritiva.

Os materiais recuperados foram devidamente analisados, fotografados e incluídos numa base de dados, sendo que o processo figurado nas imagens seguintes foi realizado em diferentes intervalos temporais. Figura 3.8





Figura 3.8- Recolha de amostras na Gruta Superior do Morgado

3.2.2. Recolha das amostras nas Ruínas de Conímbriga

Relativamente á recolha das amostras em Conímbriga, estas não tiveram uma intervenção directa do mestrando pois as mesmas foram fornecidas pelo director do museu de Conímbriga, Virgílio Hipólito Correia, em que as amostras foram devidamente entregues e acondicionadas em sacos de amostras, bem como posteriormente forneceu a informação contendo a planta das Ruínas de Conímbriga bem como as localizações das respectivas extracções das amostras. As amostras em questão apresentam-se abaixo. Figura 3.9



Figura 3.9 -Amostras das Ruínas de Conímbriga

3.3. Preparação das amostras para análise mineralógica

A preparação das amostras e a utilização de equipamento experimental é de elevada importância para a obtenção de resultados e suas análises. Assim, o processo usado para o efeito é concretizado em 8 fases, tais como:

1º - Utilizando a serra de corte de rochas, cortar a amostra com as dimensões aproximadas da lâmina de vidro e com a espessura de 1cm (esquírola). Figura 3.10

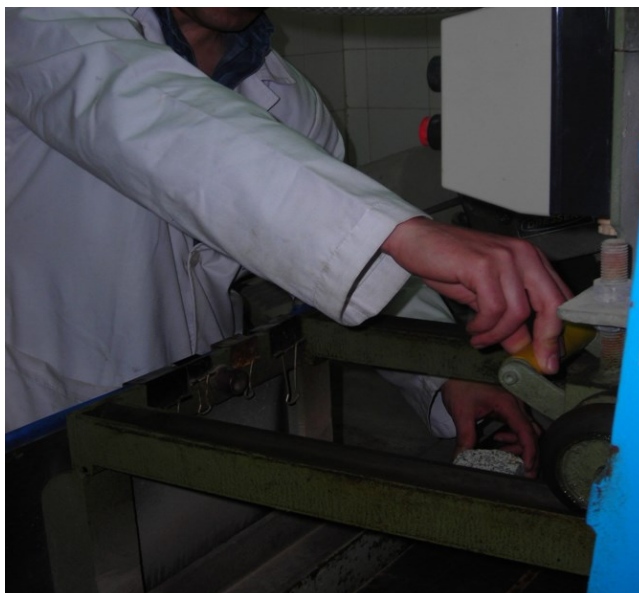


Figura 3.10 - Corte da amostra

2º - Alisar uma das faces da esquírola nos tabuleiros, ou no disco de polimento com o esmeril 320 e 600 de granulometria. Em seguida despolir uma das faces da lâmina de vidro no tabuleiro com esmeril 600. Figura 3.11 e Figura 3.12



Figura 3.11-Alisamento de uma das faces da esquírola

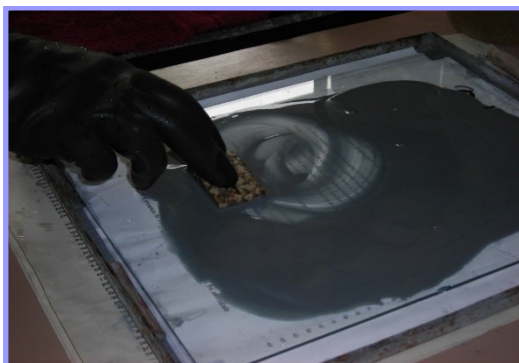


Figura 3.12- Despolimento de uma das faces da lâmina de vidro

3º - Secar a esquírola e da lâmina de vidro na estufa a uma temperatura de 35 °C durante 12 horas. Figura 3.13



Figura 3.13- Secagem da esquírola e da lâmina de vidro na estufa

4º - Colar a esquírola à lâmina de vidro, utilizando a cola “Araldite” (secagem lenta). Para a preparação desta junta-se em partes iguais endurecedor e resina e homogeneíza-se. Figura 3.14



Figura 3.14 - Colagem da esquírola à lâmina de vidro

5º - Colocar o conjunto lâmina e esquírola sobre uma placa de aquecimento, exercendo pressão ao mesmo tempo para eliminar as possíveis bolhas existentes. Em seguida, coloca-se molas de pressão no conjunto lâmina e esquírola e coloca-se no forno durante 1 hora a 40 ° C. Figura 3.15



Figura 3.15 - Secagem da esquírola

6º - Referenciar a esquírola e a lâmina.

7º - Posteriormente, foi realizado mais polimento na amostra para obter a espessura de 1mm (usando o T StruS Discoplan TS). A par destas acções vai-se observando a lâmina ao microscópio petrográfico, até se obter as cores de polarização ideais que são específicas de cada mineral (Ver escala cromática de Newton), à espessura de 0,03 mm. É na sequência deste processo que sabemos que a lâmina delgada está com a espessura ideal. Figura 3.16 e Figura 3.17



Figura 3.16 - Corte da esquírola com 1mm de espessura



Figura 3.17 - Desgaste e polimento da esquirola

8º - Depois de lavada e seca, aplica-se um spray plastificante à lâmina delgada para protecção colocando-se, de seguida, a lâmina na estufa durante 10 min para a secagem. Figura 3.18 e é analisada com recurso a microscópio óptico.



Figura 3.18 - Aplicação de plastificante à lâmina delgada



Figura 3.19- Microscópio óptico Leyca



Figura 3.20- Amostras 1 e 5 respectivamente

3.4. Preparação das amostras para análise em MEV e EDS

As fases anteriormente ilustradas auxiliam na divulgação dos diferentes constituintes que compõem a amostra. Relativamente à observação, basicamente está subdividida em duas classes: microscópica e macroscópica. Nesta experiência a observação realizada foi a microscopia. A microscopia é a análise feita com recurso a um microscópio com a capacidade de ampliação de 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x.

Para observarmos ao microscópio é necessário um bom exemplar da amostra, deve ser plana e polida de modo a minimizar a camada superficial deformada e com isso mostrar a verdadeira microestrutura da amostra. A amostra deve ser isenta de riscos de polimento para que as inclusões sejam

preservadas devendo ser plana para ser alvo de altas ampliações quando observada ao microscópio.

Numa primeira fase, a preparação das amostras consistiu no corte das amostras com recurso ao equipamento de corte do modelo Struers Labotom.

Figura 3.21

De seguida, colocou-se 2 colheres e meia de resina na argamassa e fundimos a 250°C durante 7 minutos. O tipo de equipamento utilizado na concepção foi a prensa manual.



Figura 3.21 - Struers labotom e Struers Prestopress-3

Arrefecida a amostra iniciou-se o processo de lixamento com recurso a “lixa de água” fixadas em discos rotativos. Neste processo são normalmente utilizadas lixas de varias rugosidades iniciando-se pela mais grossa, 120 até há lixa mais fina, 4000 em que os riscos deixam de existir. A técnica de lixamento consistiu em rodar a amostra e é efectuada sob refrigeração a água. Figura 3.22



Figura 3.22 - Struers Rotopol 21

Após a realização do polimento procedeu-se á visualização no microscópio para verificação do estado da amostra. Através da análise da amostra deparamo-nos com a ainda existência de riscos, o que nos levou a voltar a lixa-la. Figura 3.23



Figura 3.23 - Microscópio Axiovert

Devido à necessidade de interacção do feixe de electrões com a amostra, é necessário que esta se comporte como um material condutor. Assim, foi utilizado o revestimento das amostras com uma película fina de carbono,

utilizando o aparelho QUORUM Q150R, apropriado para pulverização catódica. Figura 3.24 e Figura 3.25.



Figura 3.24 - Disposição das amostras



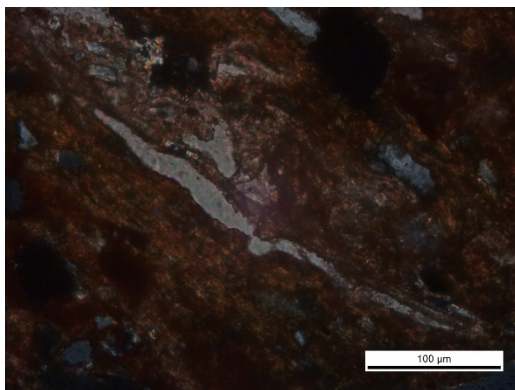
Figura 3.25 - Sistema de revestimento Quorum Q150R

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

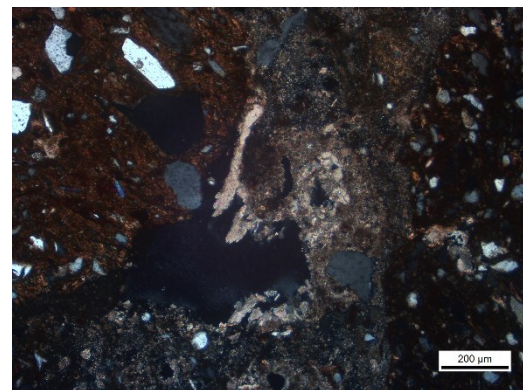
4.1. Análise mineralógica

As análises mineralógicas subsequentes representam cada um dos casos de estudo. No que respeita á amostra nº5, proveniente de uma piscina localizada nas ruínas de Conímbriga, denota-se que é constituída por fragmentos de “tijolo” e quartzo, mas também contém vestígios de moscovite, calcite e feldspatos potássicos (microclina) e calcossódicos (plagioclase). Todos os fragmentos apresentam forma angulosa. O ligante é constituído por minerais argilosos e calcite micrítica (granulometria inferior a 5 μm).

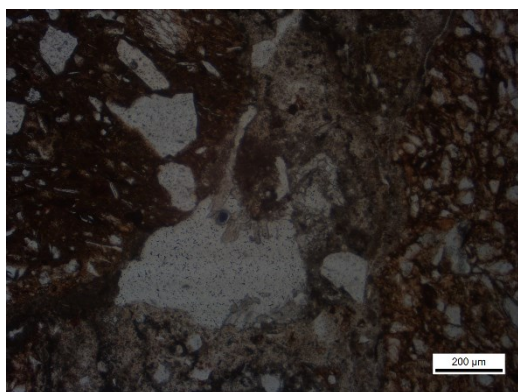
Os fragmentos de “tijolo” correspondem a uma argamassa mais antiga, de tom alaranjado, que foi reutilizada como inerte no fabrico da nova argamassa. Estes fragmentos de “tijolo” são essencialmente constituídos por fragmentos de quartzo, mas também apresentam moscovite, turmalina e calcite. Todos os fragmentos são geralmente angulosos. O ligante do “tijolo” é constituído por minerais argilosos intimamente associados a calcite micrítica (granulometria inferior a 5 μm) e a hidróxidos de ferro. Os fragmentos de “tijolo” apresentam uma textura orientada muito orientada, com cristais dispostos na mesma direcção, facto que poderá estar relacionado com o processo de produção/aplicação da argamassa.



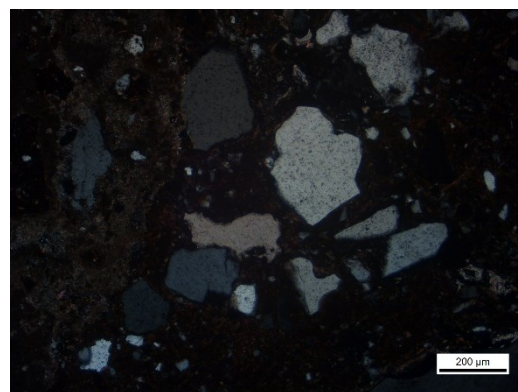
a)



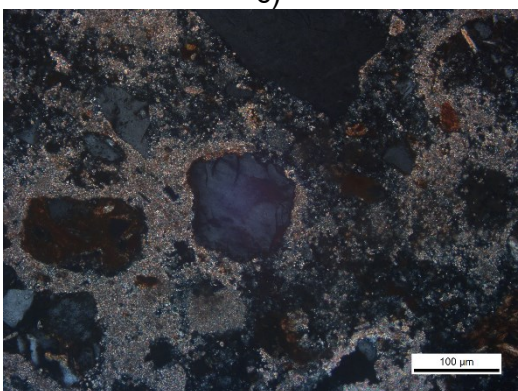
b)



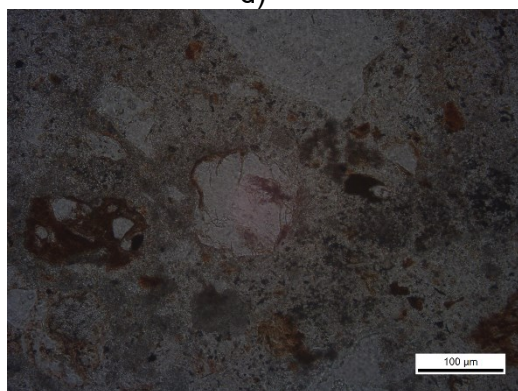
c)



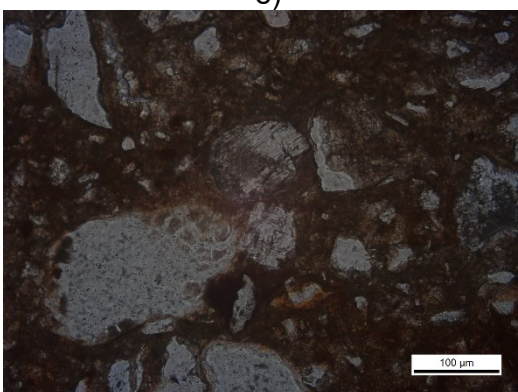
d)



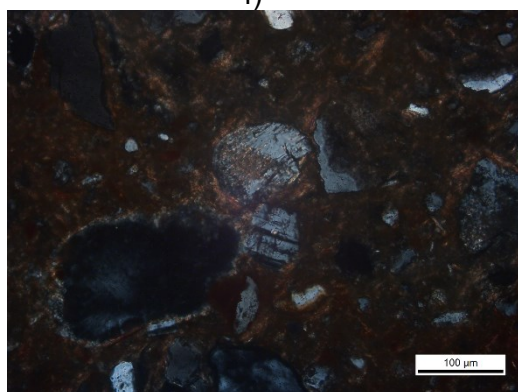
e)



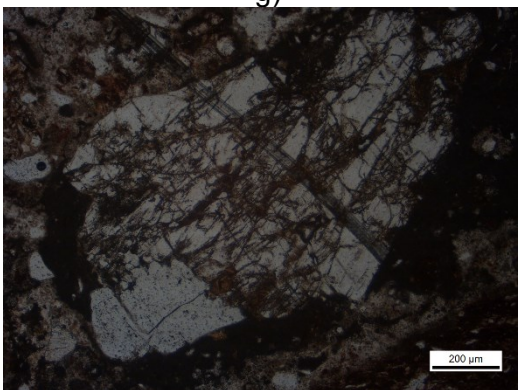
f)



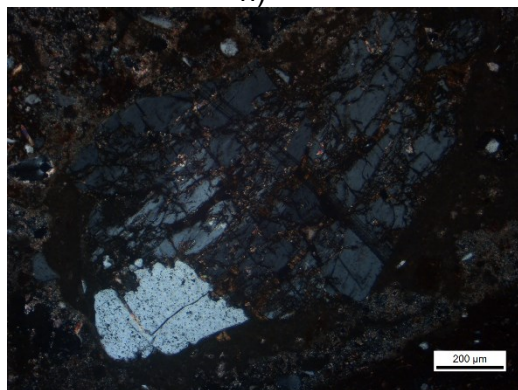
g)



h)



i)

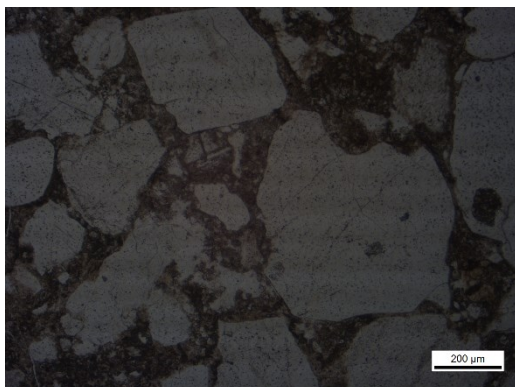


j)

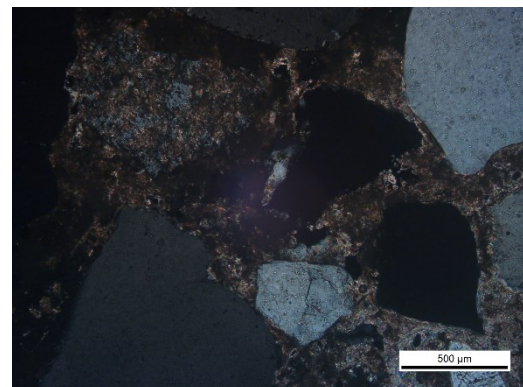
Figura 4.1- a,b,c,d,e,f,g,h,i,j, referentes a fragmentos da amostra 5

A amostra nº1 referente ao caso de estudo das grutas do Vale do Nabão, é constituída fundamentalmente por fragmentos de quartzo, quartzito (rocha metamórfica formada por quartzo recristalizado), mas também apresenta feldspatos potássicos (microclina) e calcossódicos (plagioclase), moscovite, turmalina, zircão e opacos (provavelmente óxidos de ferro). Os fragmentos apresentam uma forma subangulosa a subarredondada. O ligante é essencialmente constituído por calcite micrítica (granulometria inferior a 5 µm), com alguma argila disseminada, intensificada em algumas regiões. A textura da argamassa é isotrópica, não se observando quaisquer orientações preferenciais nos minerais existentes.

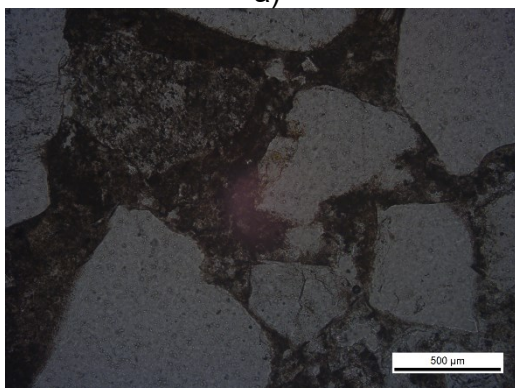
Mesoscopicamente, distinguem-se duas zonas na esquirola: a) uma zona em tom bege e b) uma outra mais acastanhada. Na primeira, o ligante é mais rico em minerais argilosos enquanto na segunda é mais rico em calcite.



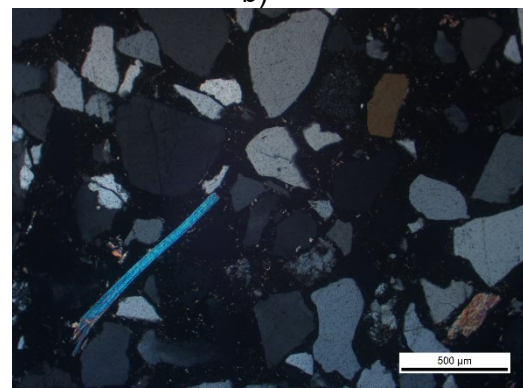
a)



b)



c)



d)



k) l)
 Figura 4.2- a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l, referentes a fragmentos da amostra 1

4.2. Microscópio electrónico de varrimento (MEV)

4.2.1. Amostra 1

A Figura 4.3 ilustra a microscopia de varrimento electrónico da amostra 2, com uma ampliação de 2000x.

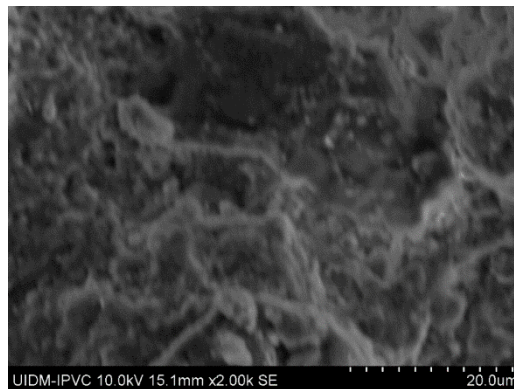


Figura 4.3 – Amostra 1

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é homogénea, sendo que tanto as partículas de menor dimensão como as de maior dimensão são maioritariamente trapezoidais e pontiagudas, mas com diferenças de tamanhos consideráveis. Verifica-se igualmente que nas três micrografias, quanto ao tamanho são de um modo geral homogéneas, sendo as partículas de uma dimensão média de 20 μm .

4.2.2. Amostra 2

A Figura 4.4 relativo às amostras 2.1 e 2.2 demonstram a microscopia de varrimento electrónico, correspondente a uma ampliação de 900x.

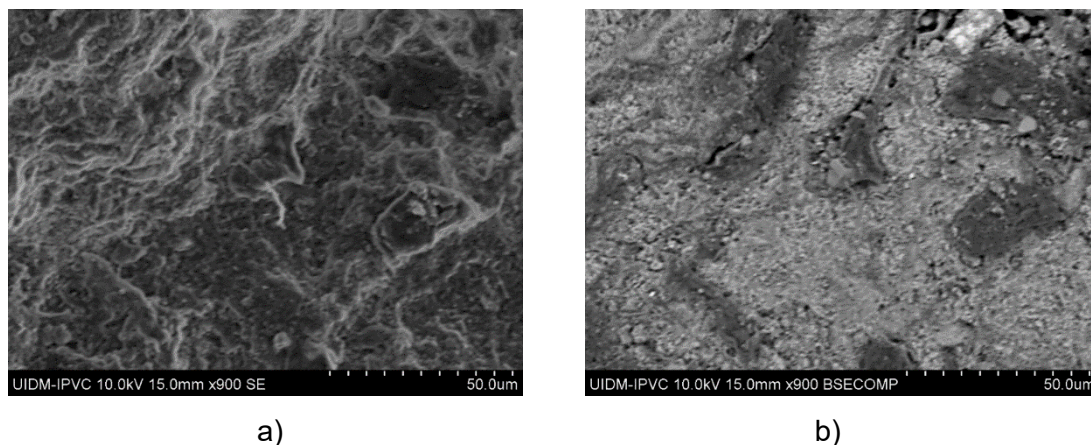


Figura 4.4 - Fotomicrografia 2.1, 2.2

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é homogénea, sendo que tanto as partículas de menor dimensão como as de maior dimensão são maioritariamente trapezoidais e pontiagudas, mas com diferenças de tamanhos consideráveis. Verifica-se igualmente que nas três micrografias, quanto ao tamanho são de um modo geral homogéneas, sendo as partículas de menor dimensão por volta de 5 μm as partículas de maior dimensão situam-se nos 50 μm .

4.2.3. Amostra 3

A Figura 4.5 exibe as imagens obtidas com recurso à microscopia de varrimento electrónico para a amostra 3, sendo a Figura (a) relativo à ampliação de 1000x e a Figura (b) relativo a uma ampliação igualmente de 1000x.

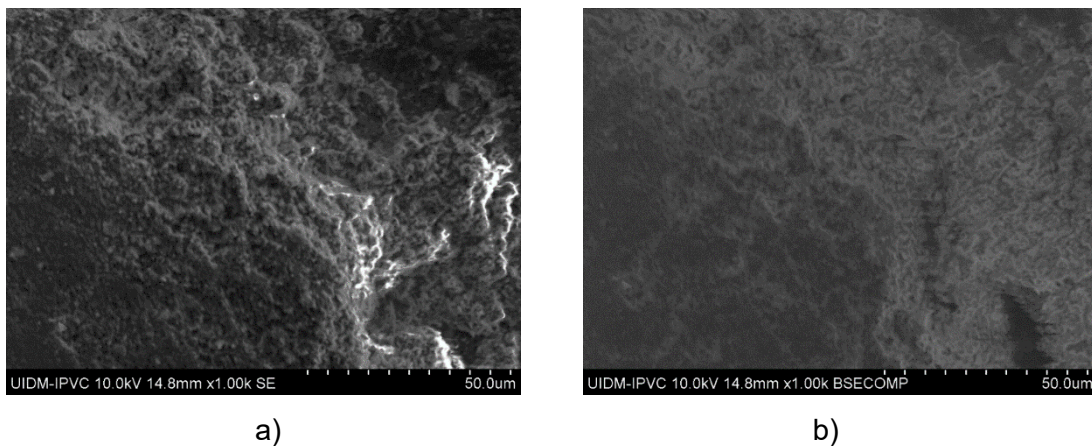


Figura 4.5 - Fotomicrografia 3.1 e 3.2

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é homogénea, sendo que tanto as partículas de menor dimensão como as de maior dimensão são irregulares e arredondadas, com diferenças de tamanhos pouco significativas. Verifica-se igualmente que nas duas micrografias, quanto ao tamanho são de um modo geral homogéneas, sendo a dimensão das partículas na generalidade perto de 1 μm .

4.2.4. Amostra 4

As Figura 4.6 e Figura 4.7 representam as microscopias MVE obtidas para a amostra 4. Todas as imagens foram recolhidas para uma ampliação de 250x.

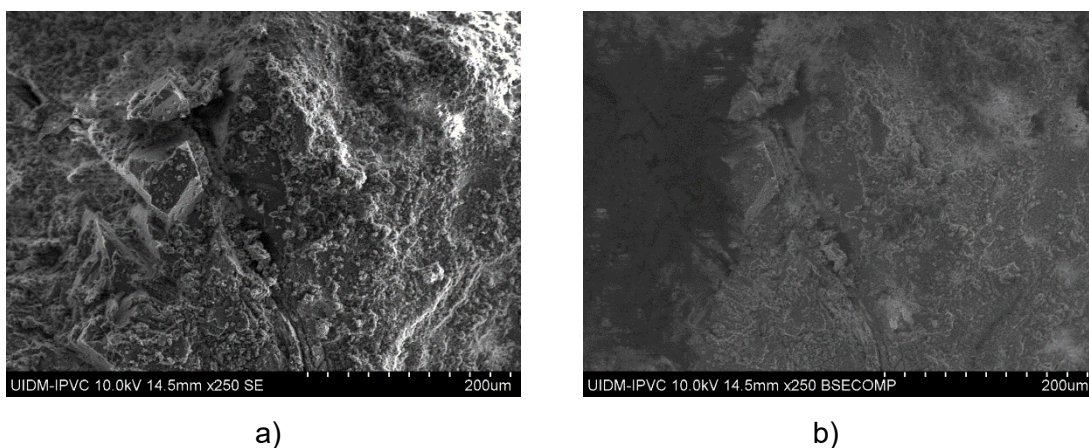


Figura 4.6 - Micrografia 4.1.1 e 4.1.2

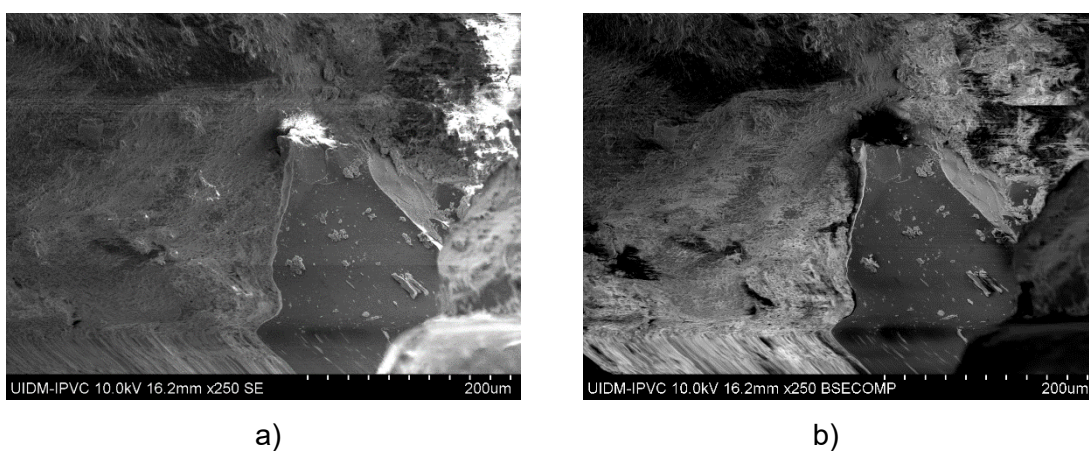


Figura 4.7 - Fotomicrografia 4.2.1 e 4.2.2

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é heterogénea, sendo que as partículas de menor dimensão são arredondadas e as partículas de maior dimensão são maioritariamente trapezoidais e pontiagudas, as diferenças de tamanhos entre as partículas de maior e menor dimensão são consideráveis. Verifica-se que na micrografia superior esquerda e ambas micrografias inferiores, quanto ao tamanho são de um modo geral

heterogéneas, sendo as partículas de menor dimensão por volta de 100 μm e as partículas de maior dimensão situam-se nos 1000 μm .

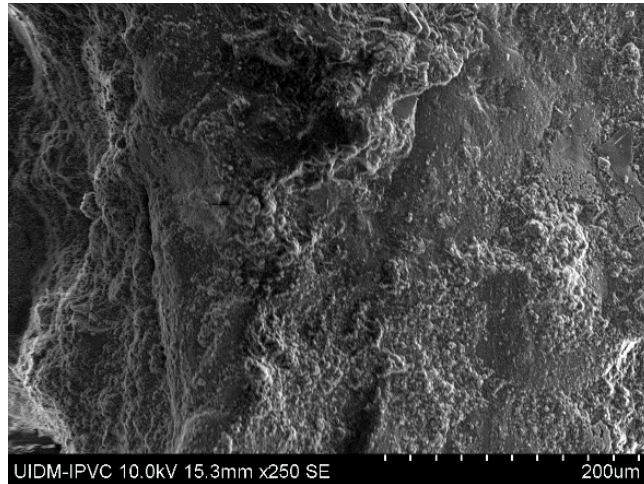


Figura 4.8 - Fotomicrografia 4.2.3

A Figura 4.8 exhibe a imagem da microscopia de varrimento electrónico do mesmo grupo de amostras da amostra 4, a onde a micrografia apresenta uma ampliação de 250x.

Analisando quanto à forma constata-se que a amostra é homogénea, sendo que tanto as partículas de menor dimensão como as de maior dimensão são irregulares e arredondadas, com diferenças de tamanhos pouco significativas. Verifica-se igualmente que nas duas micrografias, quanto ao tamanho são de um modo geral homogéneas, sendo a dimensão das partículas na generalidade perto de 50 μm .

4.2.5. Amostra 5

A Figura 4.9 corresponde à MEV efectuada para a amostra 5 usando uma ampliação igual a 250x.

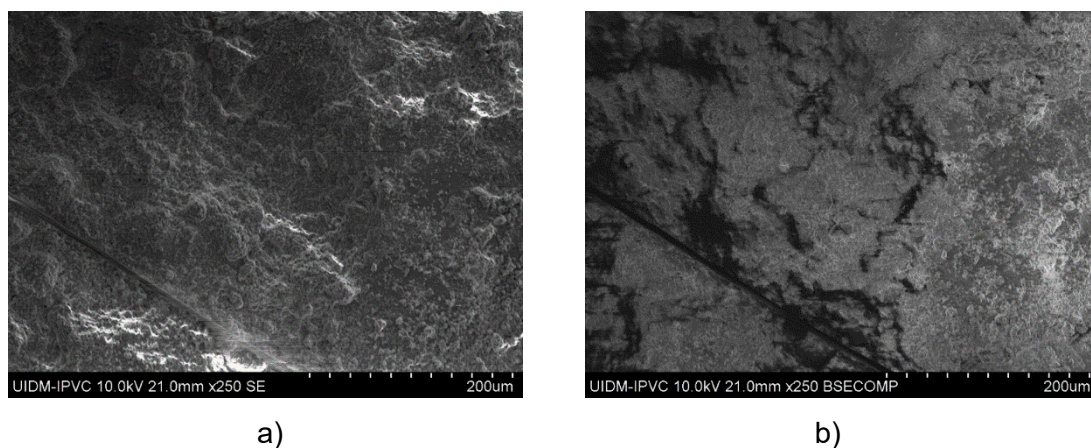


Figura 4.9 - Fotomicrografia 5.1 e 5.2

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é relativamente heterogénea, sendo que as partículas de menor dimensão são arredondadas e as partículas de maior dimensão são maioritariamente trapezoidais e pontiagudas, as diferenças de tamanhos entre as partículas de maior e menor dimensão são pouco consideráveis. Verifica-se que ambas micrografias, quanto ao tamanho são pouco heterogéneas, sendo as partículas de menor dimensão por volta de 20 μm e as partículas de maior dimensão situam-se nos 200 μm .

4.2.6. Amostra 6

Para a amostra 6 foi também empregue a técnica experimental preconizada pela microscopia de varrimento electrónico. Na Figura 4.10 e Figura 4.11 estão apresentadas as imagens recolhidas usando a técnica referida para uma ampliada de 500x.

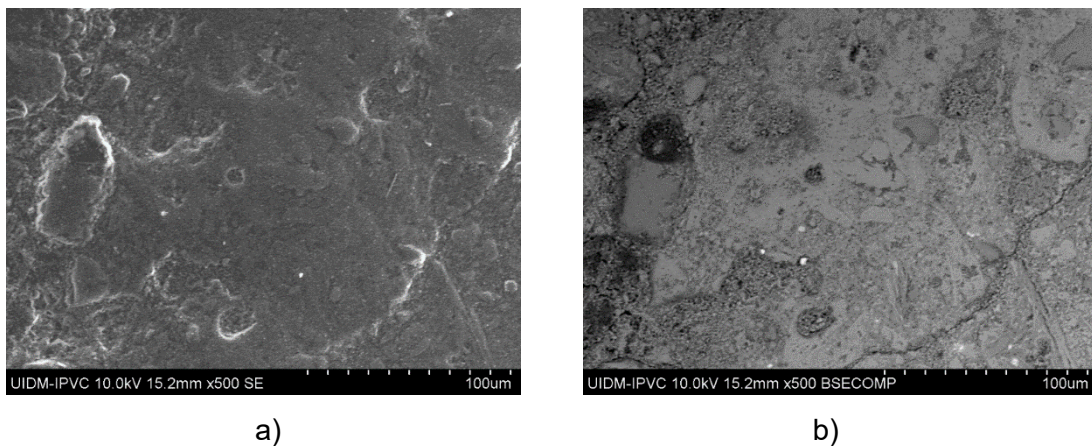


Figura 4.10 - Fotomicrografia 6.1 e 6.2

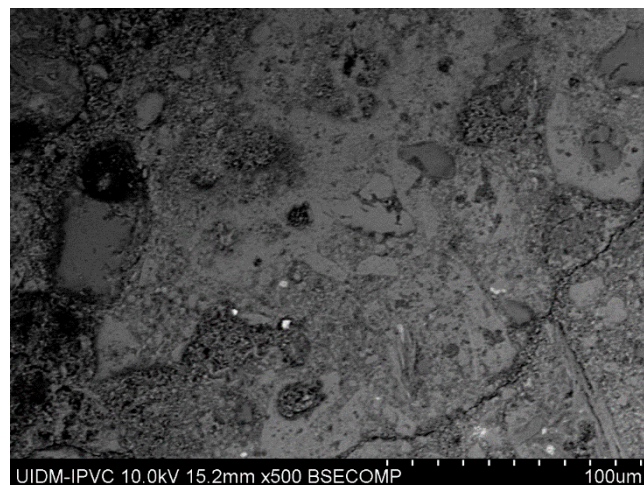


Figura 4.11 - Micrografia 6.3

Analisando quanto á forma constata-se que a amostra é heterogénea sendo que as partículas de menor dimensão são arredondadas e as partículas de maior dimensão são maioritariamente trapezoidais e pontiagudas, as diferenças de tamanhos entre as partículas de maior e menor dimensão são consideráveis. Verifica-se que na micrografia superior esquerda e ambas micrografias inferiores, quanto ao tamanho são de um modo geral

heterogéneas, sendo as partículas de menor dimensão por volta de 50 μm e as partículas de maior dimensão situam-se nos 300 μm .

4.3. Apresentação e análise de resultados do ensaio (EDS)

Adicionalmente à técnica convencional de microscopia electrónica de varrimento é usada a espectrometria por dispersão de energia de raios X (EDS) com o objectivo de identificar os elementos químicos mais relevantes nos materiais analisados.

Previamente é necessário revelar que apesar do Oxigénio (O) estar presente em todas as amostras, o mesmo não foi considerado pelo facto de poder derivar de componentes orgânicos bem como é parte integrante dos componentes.

4.3.1. Amostra 1

Na Tabela 4.1 - Elementos químicos presentes na amostra 1 e Figura 4.12 são apresentados as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 1. Da análise verifica-se que Si, Ca e Al são os elementos mais abundantes.

Tabela 4.1 - Elementos químicos presentes na amostra 1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	69,372
(Si)	15,881
(Ca)	5,187
(Al)	4,805
(Zn)	0,853
(F)	2,679
(Mg)	0,863
(K)	0,359
	100

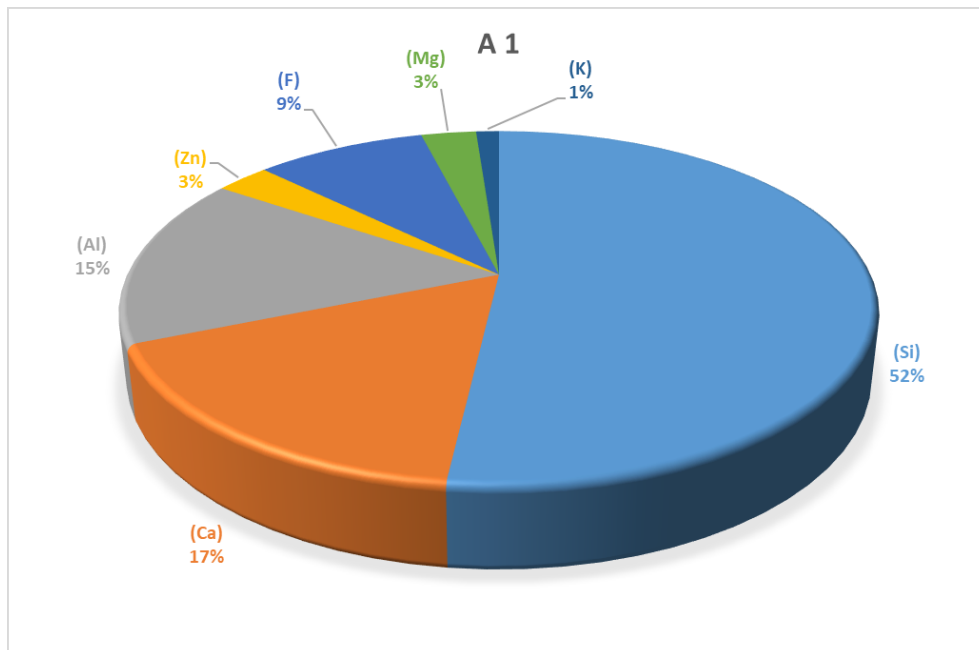


Figura 4.12 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 1

A análise dos espectros revela a presença dos elementos como o Silício (Si) e o cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio (Ca). Os valores da Silício situam-se nos 52%, enquanto, no caso do cálcio (Ca) os valores são relativamente mais baixos 17%. A presença de alumínio (Al), poderá indicar a existência de elementos metálicos no local, ou poderá ser influenciado pelo porta amostras em alumínio utilizado.

4.3.2. Amostra 2

Na Tabela 4.2 e Figura 4.13 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 2.1 onde se verifica na amostra que os elementos mais representativos são o Si, Al e Ca.

Tabela 4.2 -Elementos químicos presentes na amostra 2.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	58,951
(Si)	20,98
(Al)	12,231
(K)	4,143
(F)	2,913
(Mg)	0,782
	100

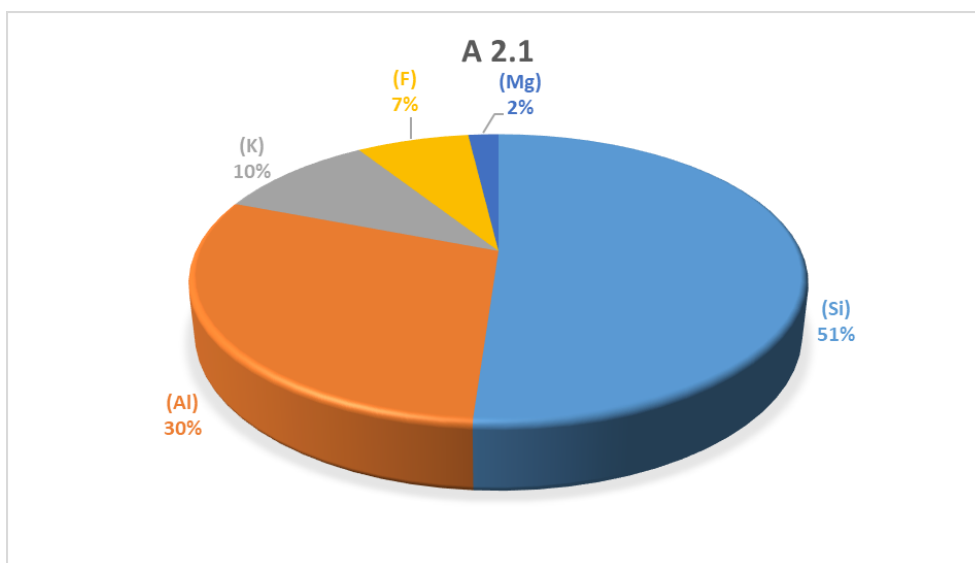


Figura 4.13 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.1

Na Tabela 4.3 e Figura 4.14 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 2.2. Da análise verifica-se que Si, Ca e Al são os elementos mais abundantes.

Tabela 4.3 - Elementos químicos presentes na amostra 2.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	56,303
(Si)	23,309
(Ca)	15,097
(Al)	4,309
(Mg)	0
(Na)	0
(K)	0,982
(S)	0
	100

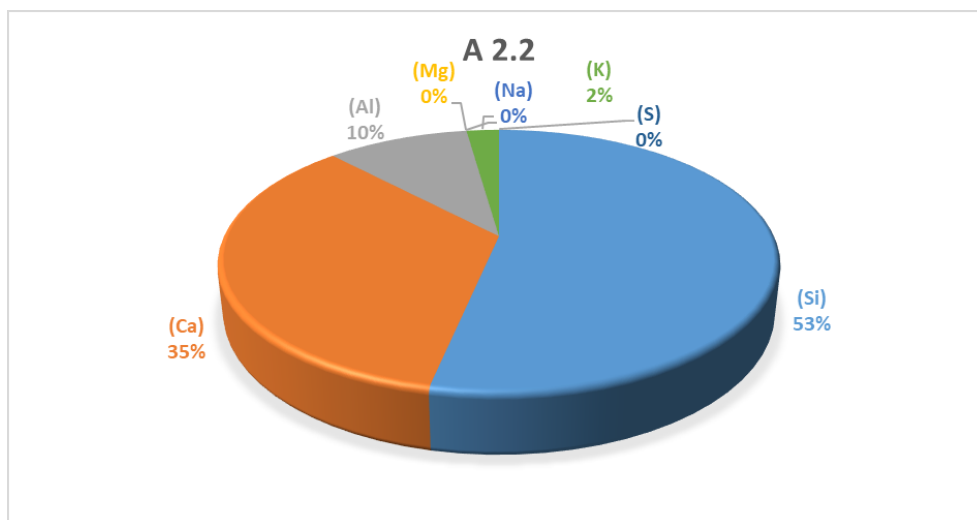


Figura 4.14 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 2.2

A análise dos espectros revela a presença dos elementos como a Silício (Si) e o cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso da amostra 2.1 não está presente o elemento cálcio (Ca). Os valores

Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Instituto Politécnico de Viana do Castelo Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

médios da Silício situam-se nos 20%, enquanto, no caso do cálcio (Ca) os valores são mais variáveis entre os 5% e 15%. A presença de alumínio (Al), poderá indicar a existência de elementos metálicos no local.

É igualmente constatável uma quase nula presença de sódio (Na) e enxofre (S), outros elementos um pouco mais significativos, mas ainda assim residuais nas argamassas.

4.3.3. Amostra 3

Na Tabela 4.4 e Figura 4.15 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 3.1. Nesta amostra, a maior quantidade está reservada aos elementos Si e Ca.

Tabela 4.4 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	73,484
(Si)	14,198
(Ca)	9,877
(Al)	2,441
(C)	0
	100

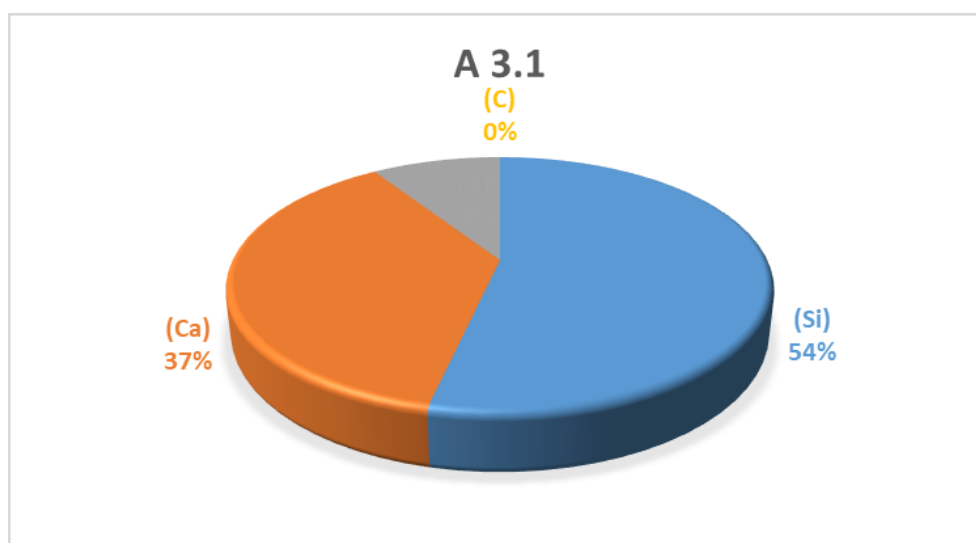


Figura 4.15 -Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.1

Na Tabela 4.5 e Figura 4.16 são apresentados as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 3.2. O elemento Ca é o mais representativo, seguido do Si.

Tabela 4.5 - Exposição das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	81,027
(Si)	4,911
(Ca)	12,259
(Al)	1,802
(C)	0
	100

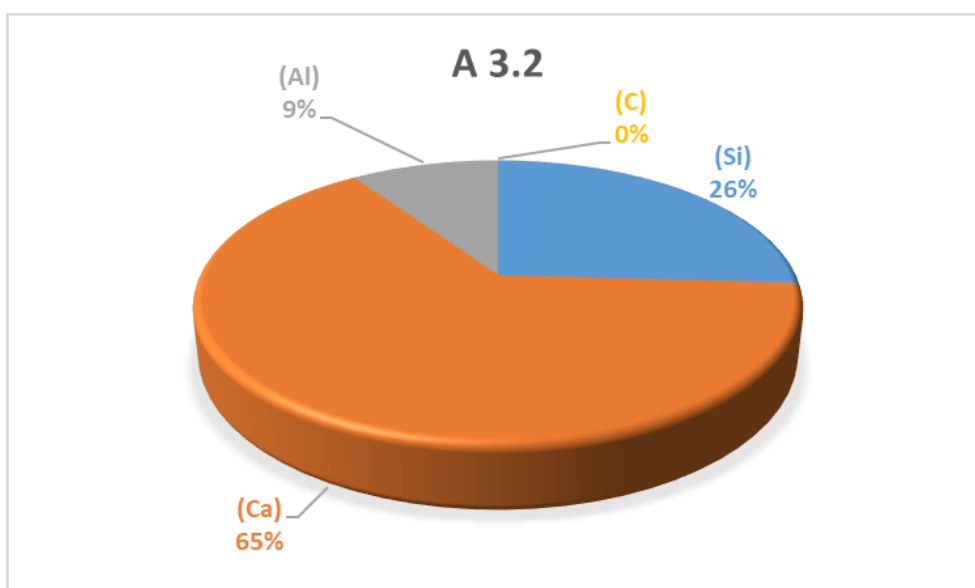


Figura 4.16 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 3.2

A análise dos espectros revela a presença dos elementos como a Silício (Si) e o cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso do primeiro gráfico não está presente o elemento cálcio (Ca). Os valores médios do cálcio (Ca) situam-se nos 10%. No caso da Silício (Si) os valores são mais variáveis entre os 5% e 15%. A presença quase nula de alumínio (Al), poderá indicar a existência de elementos metálicos no local. É igualmente constatável uma quase nula existência de carbono (C).

4.3.4. Amostra 4

Na *Tabela 4.6* e *Figura 4.17* são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 4.1.1. Nesta amostra o elemento mais representativo é o Si, com uma presença bastante considerável quando comparada com os restantes elementos.

Tabela 4.6 - Elementos químicos presentes na amostra 4.1.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	66,465
(Si)	29,539
(Ca)	3,234
(Al)	0,43
(Mg)	0,331
	100

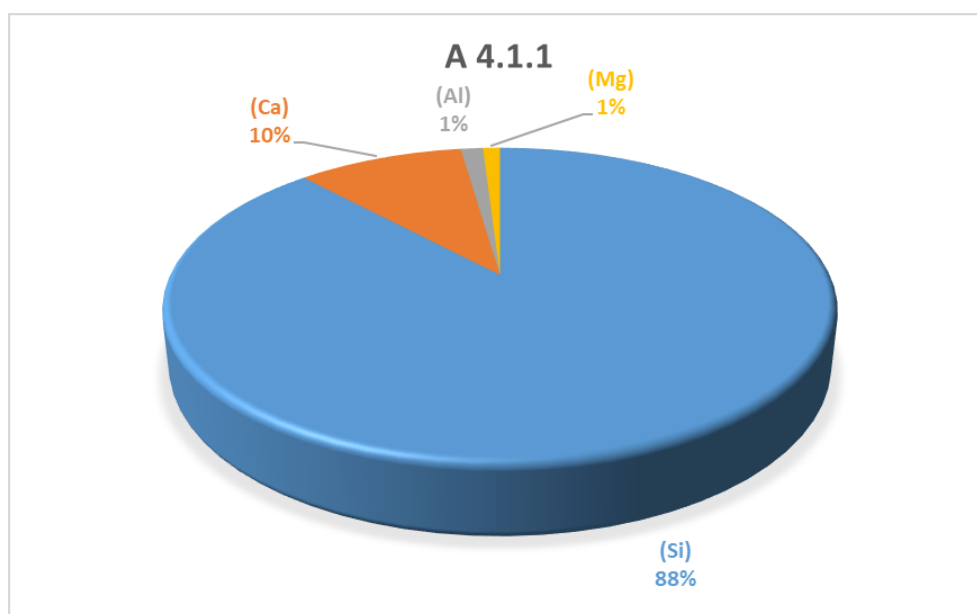


Figura 4.17 -Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.1

Na Tabela 4.7 e Figura 4.18 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 4.1.2. Tal como se verificou na amostra 4.1.1., o elemento mais representativo é o Si.

Tabela 4.7 - Elementos químicos presentes na amostra 4.1.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	66,465
(Si)	29,539
(Ca)	3,234
(Al)	0,43
(Mg)	0,331
	100

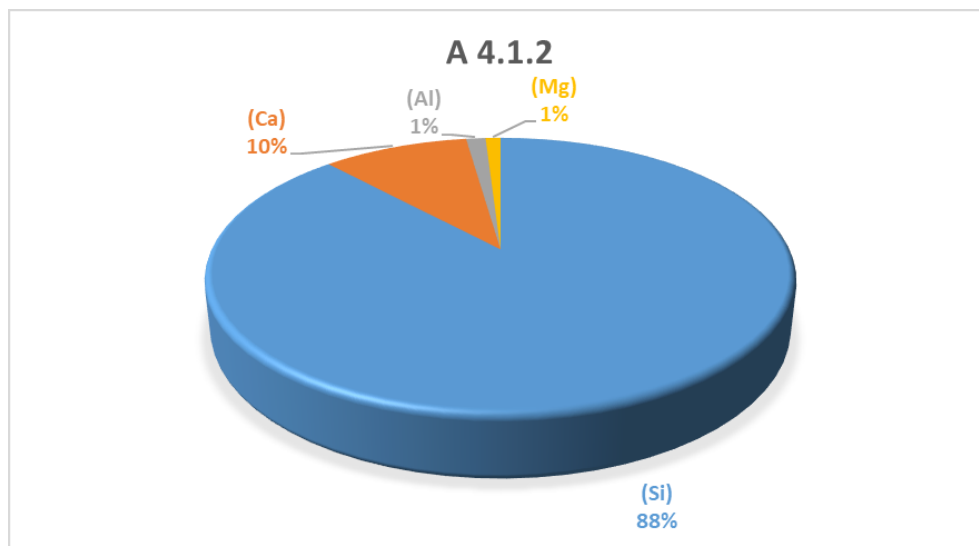


Figura 4.18 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.1.2

Na Tabela 4.8 e Figura 4.19 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 4.2.1. Tal como verificado nas amostras 4.1.1. e 4.1.2, o elemento mais representativo é o Si.

Tabela 4.8 - Elementos químicos presentes na amostra 4.2.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	80,824
(Si)	19,176
	100

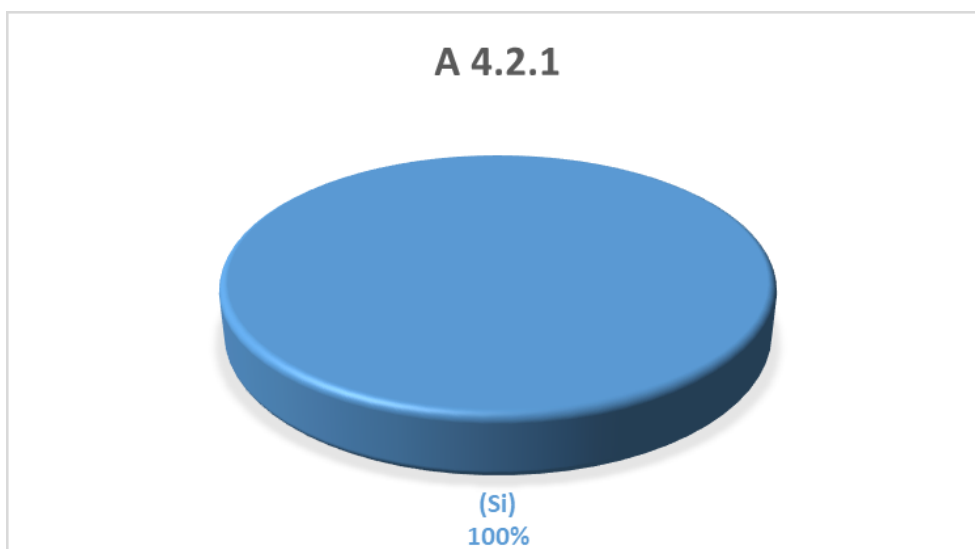


Figura 4.19 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.1

Nas Tabela 4.9 e Figura 4.20 são apresentados as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 4.2.2. Nesta amostra os elementos mais representativos são o Ca e o Si.

Tabela 4.9 - Elementos químicos presentes na amostra 4.2.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	80,726
(Si)	7,401
(Ca)	8,015
(Al)	3,174
(Na)	0,684
	100

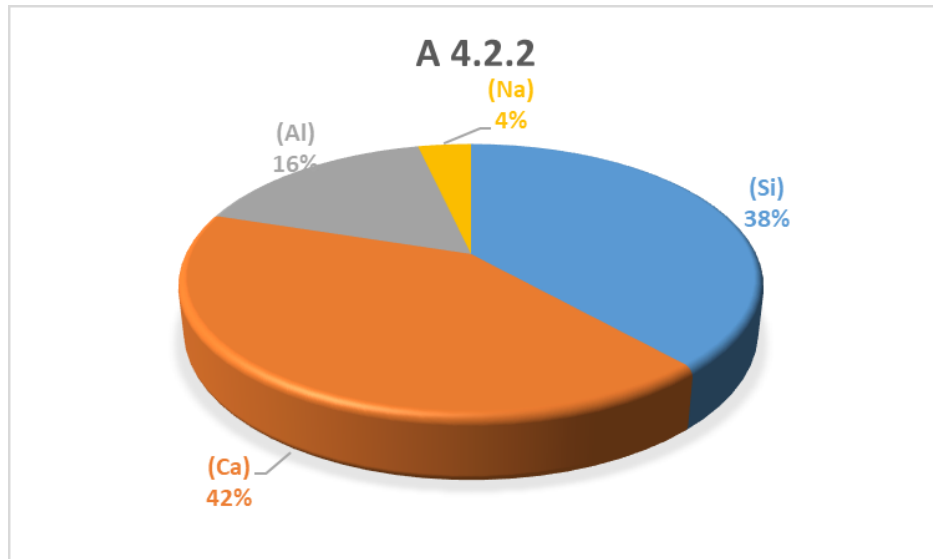


Figura 4.20 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.2

Nas Tabela 4.10 e Figura 4.21 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 4.2.3. Contrariamente ao verificado nas anteriores amostras, esta amostra revela ser mais homogênea quanto á distribuição de elementos, sendo os mais relevantes os Si, Ca, Al e Zn.

Tabela 4.10 - Elementos químicos presentes na amostra 4.2.3

Elemento	[norm. at.%]
(O)	85,705
(Si)	7,989
(Ca)	2,133
(Al)	3,002
(Zn)	1,171
	100

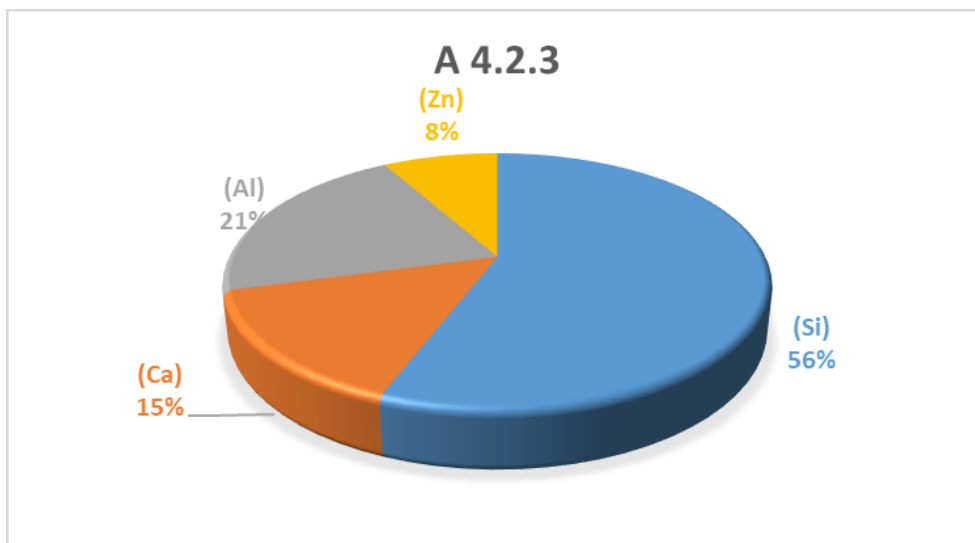


Figura 4.21 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 4.2.3

Observando os espectros dos gráficos 4.1.1 e 4.1.2 revela a presença dos elementos como a Silício (Si) e o cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso dos gráficos 4.1.1, 4.1.2 os valores médios no caso do cálcio (Ca) dispõem-se nos 4%. No caso da Silício (Si) os valores são mais variáveis entre os 30 e 32%, respectivamente. A presença quase nula de alumínio (Al) e magnésio (Mg) poderá indicar a existência de elementos metálicos no local.

Relativamente ao gráfico 4.2.1, é somente constituído oxigénio (O) e Silício (Si). Já nos restantes gráficos 4.2.2 e 4.2.3, revela que os químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso do primeiro gráfico não está presente o elemento cálcio (Ca). Os valores da Silício (Si) dispõem-se nos 7%. No caso do cálcio (Ca), os valores são mais variáveis entre os 2% e 8%. A existência de alumínio (Al) e zinco (Zn) indicará a existência de elementos metálicos no lugar de extracção.

4.3.5. Amostra 5

Nas Tabela 4.11 e Figura 4.22 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 5.1. Nesta amostra o elemento mais representativo é o Ca.

Tabela 4.11 - Elementos químicos presentes na amostra 5.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	74,486
(Si)	6,635
(Ca)	16,646
(Al)	1,455
(Mg)	0,386
(P)	0,392
	100

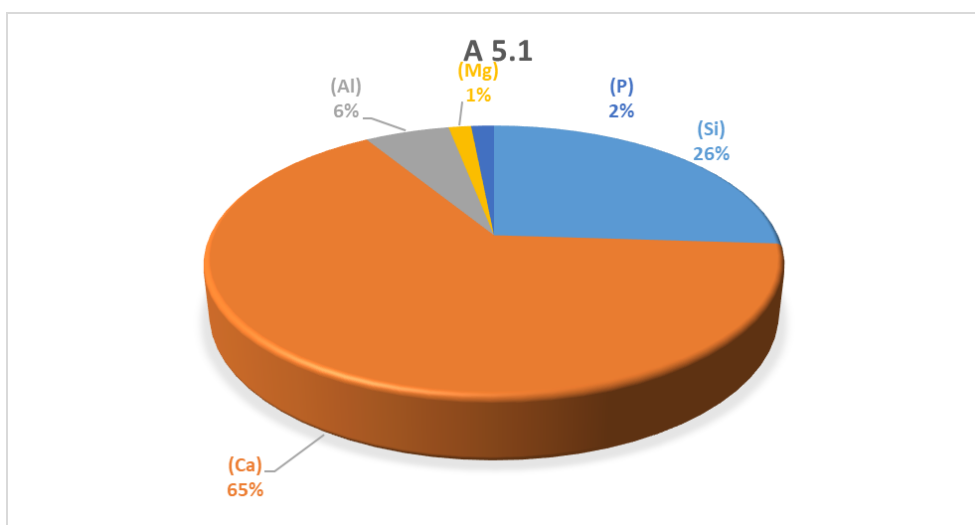


Figura 4.22 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.1

Nas Tabela 4.12 e Figura 4.23 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 5.2. Tal como verificado na amostra 5.1, o elemento mais representativo é o Ca, seguido do Si.

Tabela 4.12 - Elementos químicos presentes na amostra 5.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	80,836
(Si)	4,372
(Ca)	12,148
(Al)	1,473
(Mg)	0,473
(P)	0,187
(Na)	0,51
	100

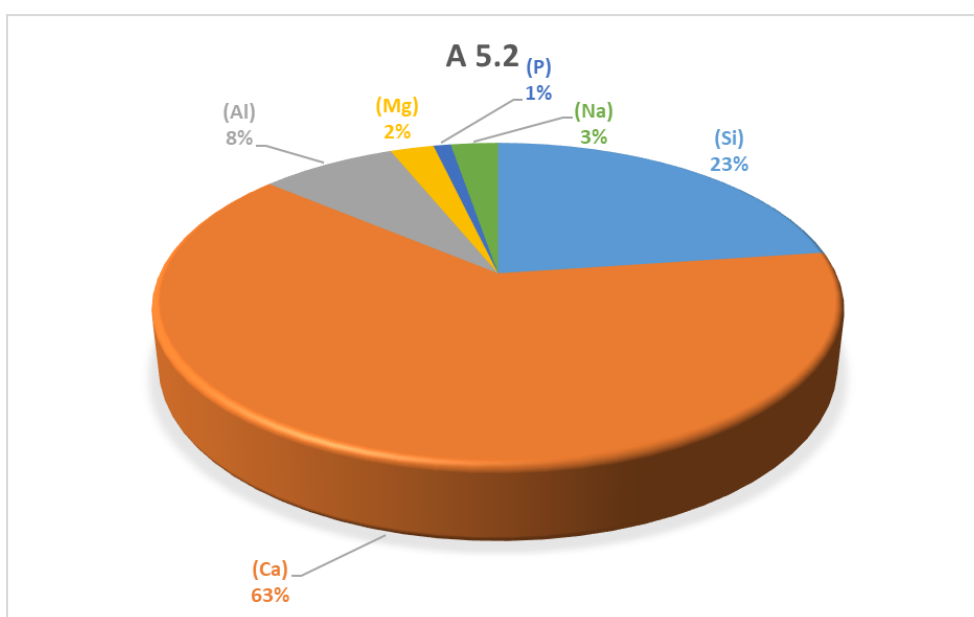


Figura 4.23 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 5.2

A espectroscopia de energia dispersiva divulga a comparência dos elementos como a Silício (Si) e o cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso do primeiro gráfico não está presente o elemento cálcio (Ca). Os valores da Silício situam-se nos 5% bem como o cálcio (Ca) ligeiramente mais presente com valores próximos dos 15%. A presença de alumínio (Al), poderá indicar a existência de elementos metálicos no local.

É igualmente constatável uma quase nula presença de sódio (Na) e fósforo (P) e magnésio (Mg).

4.3.6. Amostra 6

Nas Tabela 4.13 e Figura 4.24 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 6.1, sendo o elemento químico mais representativo o Si.

Tabela 4.13 - Elementos químicos presentes na amostra 6.1

Elemento	[norm. at.%]
(O)	60,039
(Si)	39,961
	100

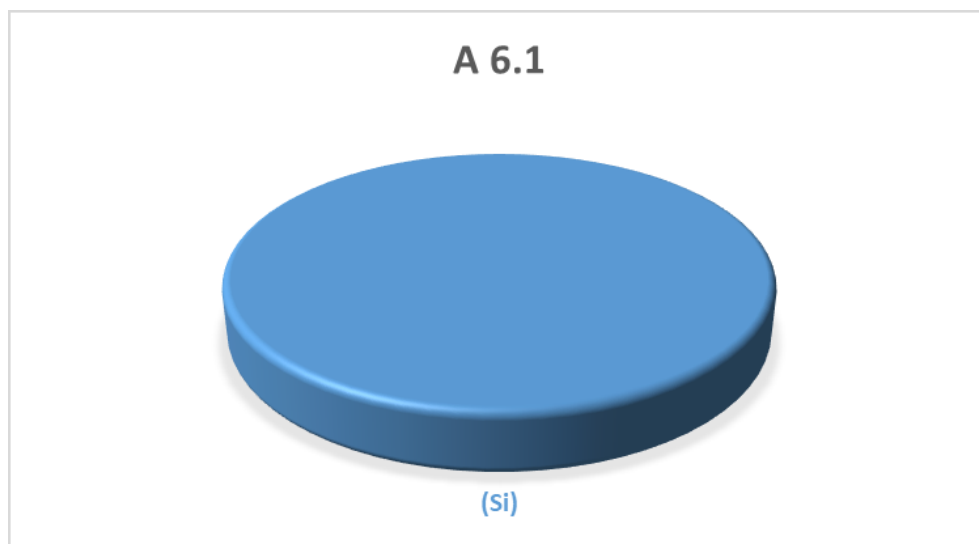


Figura 4.24 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.1

Nas Tabela 4.14 e Figura 4.25 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 6.2. Nesta amostra os elementos químicos mais representados são o Si, Al e K.

Tabela 4.14 - Elementos químicos presentes na amostra 6.2

Elemento	[norm. at.%]
(O)	54,354
(Si)	29,657
(Al)	8,587
(K)	6,634
(Na)	0,767
	100

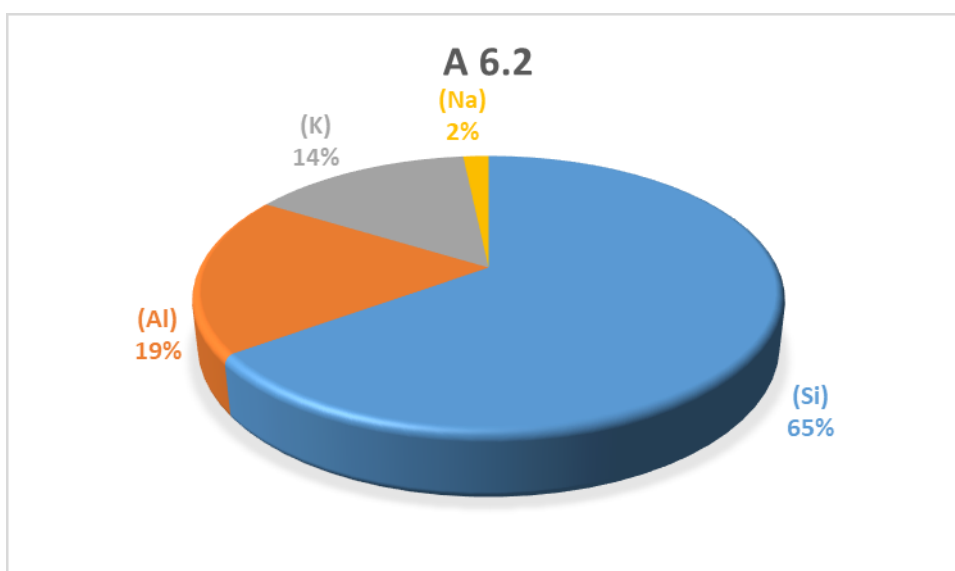


Figura 4.25 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.2

Nas Tabela 4.15 e Figura 4.26 são apresentadas as quantidades de elementos químicos presentes na amostra 6.3. Nesta amostra os elementos mais representativos são o Si e Ca.

Tabela 4.15 - Elementos químicos presentes na amostra 6.3

Elemento	[norm. at.%]
(O)	64,071
(Si)	11,116
(Ca)	19,108
(Al)	4,195
(Mg)	0,672
(P)	0,461
(Na)	0,377
	100

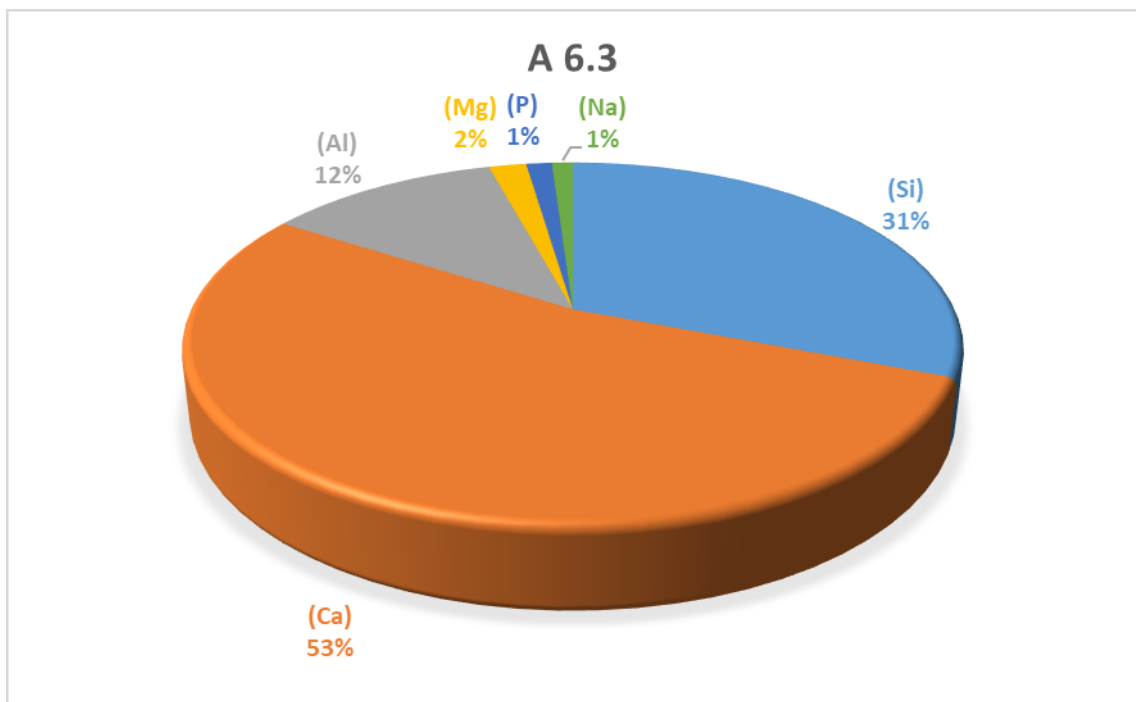


Figura 4.26 - Representação gráfica das quantidades dos elementos químicos presentes na amostra 6.3

Observando os espectros dos gráficos 6.2 e 6.3 revela a presença dos elementos como a Silício (Si), cálcio (Ca) característicos da constituição de argamassas á base de cal. Examinando os gráficos é possível ver que os constituintes químicos que aparecem em maior percentual são a Silício (Si) e o cálcio, sendo que no caso dos gráficos 6.2 e 6.3, os valores médios de cálcio (Ca) dispõem-se entre os 8 e os 19%. No caso da Silício (Si) os valores são mais variáveis entre os 11 e 30%, respectivamente. A presença de alumínio (Al) poderá indicar a existência de elementos metálicos no lugar de extracção. Relativamente ao gráfico 6.1, é somente constituído por Silício (Si). A análise dos espectros revela igualmente a presença residual dos elementos fósforo (P), magnésio (Mg) e sódio (Na). No gráfico 6.2 existe uma quantidade significativa de potássio que poderá ser explicada por uma eventual contaminação da amostra aquando da recolha.

4.4. Apresentação e discussão de resultados

A Tabela 4.16 seguinte ilustra o resumo dos componentes encontrados nas respectivas amostras em percentagens.

Tabela 4.16 - Resumo dos elementos existentes nas amostras e respectivas quantidades

Amostra	(Si)	(Ca)	(Al)	(Mg)	(K)	(F)	(Zn)	(Na)	(P)	(C)	(S)
Amostra 1	15,881	5,187	4,805	0,863	0,359	2,679	0,853	0	0	0	0
Amostra 2,1	20,98	0	12,231	0,782	4,143	2,913	0	0	0	0	0
Amostra 2,2	23,309	15,097	4,309	0	0,982	0	0	0	0	0	0
Amostra 3,1	14,198	9,877	2,441	0	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 3,2	4,911	12,259	1,802	0	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 4,1,1	29,539	3,234	0,43	0,331	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 4,1,2	29,539	3,234	0,43	0,331	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 4,2,1	19,176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 4,2,2	7,401	8,015	3,174	0	0	0	0	0,684	0	0	0
Amostra 4,2,3	7,989	2,133	3,002	0	0	0	1,171	0	0	0	0
Amostra 5,1	6,635	16,646	1,455	0,386	0	0	0	0	0,392	0	0
Amostra 5,2	4,372	12,148	1,473	0,473	0	0	0	0,51	0,187	0	0
Amostra 6,1	39,961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amostra 6,2	29,657	0	8,587	0	6,634	0	0	0,767	0	0	0
Amostra 6,3	11,116	19,108	4,195	0,672	0	0	0	0,377	0,461	0	0

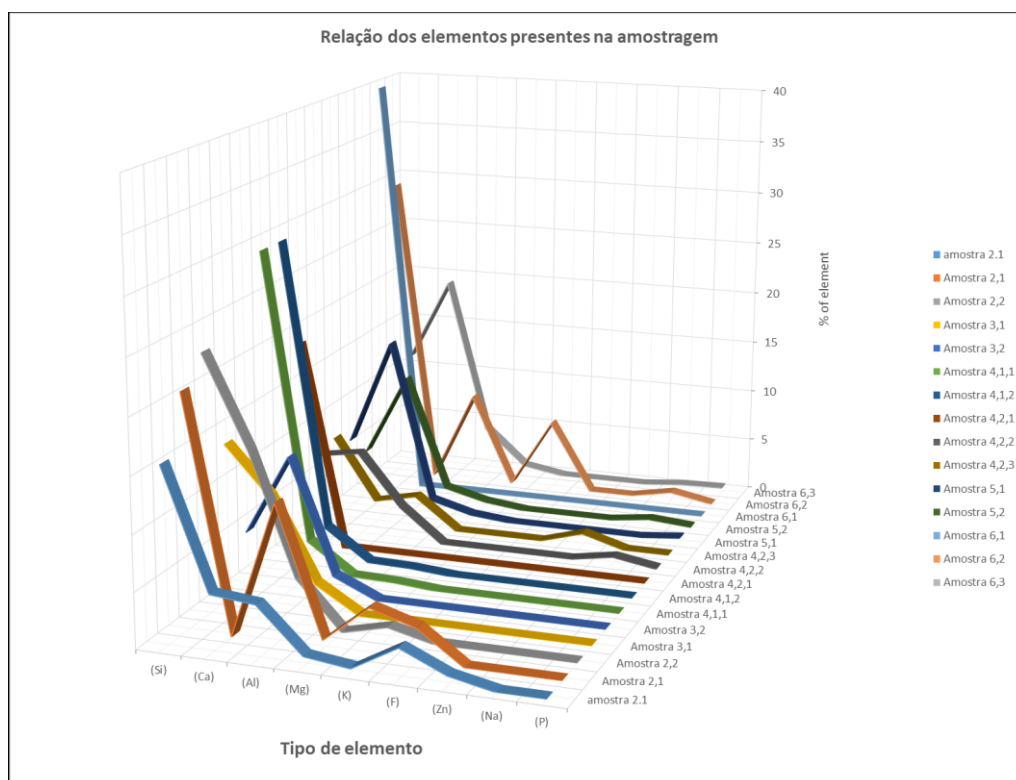


Figura 4.27 - Relação dos elementos presentes nas amostragem

Através dos resultados anteriormente apresentados na Figura 4.27, verifica-se que a Silício (Si) é o elemento mais abundante presente em todas as amostras seguido do cálcio (Ca) e alumínio (Al).

No caso do cálcio (Ca), denota-se a sua ausência em algumas expansões nas amostras 2.1, 4.2.1, 6.1 e 6.2, pelo que poderá facilmente explicável simplesmente pela grande capacidade de ampliação do aparelho diminuindo a área observada. No entanto pelos valores expressivos de cálcio, indicam que aparentemente as argamassas são á base de cal e terra pela presença de Silício. O facto das amostras terem baixa dimensão de partículas, é possível que a fracção mais fina da amostra após a trituração seja o ligante (cal), o que explicará elevadas percentagens de cálcio encontradas nas amostras 1, 5.1 e 6.3. Segundo a observação da relação dos elementos presentes na amostra, conclui-se que a amostra mais rica em diversidade, é a amostra 2.1, pois contém Silício (Si), cálcio (Ca) alumínio (Al), magnésio (Mg), Potássio (K), Flúor (F) e Zinco (Zn). As únicas amostras que não contém alumínio (Al) na sua composição são 4.2.1 e 6.1.

5. CONCLUSÃO

Finalizado o estudo e tendo em conta os objectivos propostos para esta investigação, pode-se considerar que os vários parâmetros foram alcançados.

Os registos de anciãos como Vitruvius fornecem informações valiosas sobre o antigo processo de fabrico dos materiais e dá apoio à investigação presente e futura. No passado os anciãos basearam-se no seu conhecimento passado entre gerações e experiência não científica para conceber e aprimorar as características das argamassas de modo a aperfeiçoar a sua função em detrimento da utilização. O processo de fabrico e a colecta das materiais, eram determinadas pela distancia dos locais de extracção das matérias-primas bem como pela sua ecologia.

Os anciãos optimizavam ao máximo o potencial dos materiais disponíveis, o tipo de calcário, os processos de queima, a hidratação e o endurecimento influenciam directamente a qualidade da cal produzida, considerando isto, os anciãos perceberam que provocando reacções na cal através de razões de acrescento, como materiais pozzolânicos ou aditivos orgânicos, concebiam propriedades únicas que solucionavam lacunas na sua aplicação e posterior capacidade de manter o seu propósito em circunstâncias de deterioração por negligência ou mesmo pela exposição climática.

A vasta diversidade de composições nas argamassas antigas encontradas em Portugal, têm como ligante principal a cal aérea, e os agregados eram maioritariamente siliciosos ou calcários.

Apesar das amostras de estudo pertencerem as duas localizações distintas com distância entre elas aproximadamente de 80 km, foi possível concluir significativas correspondências nos elementos presentes nas amostras. Os ensaios de Espectroscopia de energia dispersiva (EDS) revelaram em ambas as localizações, que os elementos químicos maioritariamente presentes eram Oxigénio, Silício, Cálcio, Alumínio e Magnésio.

No caso da Gruta superior do Morgado, registaram-se vestígios significativos de Cálcio e Flúor, que se poderão explicar pelo facto da gruta com 7 mil anos de história, ter sido utilizada pelos habitantes para depositarem lá os

“seus mortos” durante cinco séculos. Relativamente às ruínas de Conímbriga, foram assinalados vestígios de Zinco e Sódio e Fósforo provavelmente pela presença de salinas no local, já a presença de potássio poderá ser explicada pela existência de tinta em algumas das amostras.

Observada esta correspondência nos elementos químicos nas amostras das diferentes localizações, poderá supor-se que as argamassas utilizadas e possivelmente processos de fabrico eram semelhantes.

Os elementos como o Enxofre Carbono e Zinco foram desprezados pelo facto de por poder derivar do suor das mãos ou de matéria orgânica proveniente de vestígios de rastejantes ou teias de aranha.

No que respeita à mineralogia no caso de estudo das grutas do Vale do Nabão, a constituição dos fragmentos é bastante mais rica e diversificada provavelmente derivado aos ocupantes de multiculturas ao longo dos séculos. A constituição dos fragmentos em Conimbriga são basicamente quartzo e “tijolo” (fragmentos de quartzo, moscovite, turmalina e calcite, correspondentes possivelmente a uma argamassa mais antiga, reutilizada como inerte na nova argamassa).

Já relativamente aos fragmentos no Vale do Nabão, estes são essencialmente quartzo e quartzito, o que revela a utilização de matérias-primas próximas do local, já os óxidos de ferro poderão ser explicados pela presença de metais ao longo das ocupações.

Como se poderia esperar devido à proximidade de um afluente, o ligante no caso de estudo do Vale do Nabão é mais rico em minerais argilosos do que o ligante referente ao caso de estudo de Conímbriga que contém uma quantidade significativa de calcite, provavelmente derivado ao acesso às matérias-primas e processos de construção serem mais sofisticados nessa janela temporal.

Pós esta dissertação, conclui-se que a pesquisa científica é necessária a fim de compreender o desempenho de argamassas à base de cal nos elementos Históricos.

Relativamente a futuras formulações de argamassas, as argamassas de suporte devem ser previamente analisadas a nível físico (tracção e

compressão) e químico (constituição elementar) de modo a elevar o nível de correspondência entre a argamassa antiga e a nova. No que diz respeito a esta dissertação faltou fazer a análise DRX, testes de compressão e tracção, que num panorama geral iria evidenciar as diferenças entre as argamassas das duas localizações bem como seria o ingrediente final para um apoio sólido na elaboração de argamassas compatíveis com as existentes.

Pesquisas recentes indicam uma tendência para evitar ligantes modernos na conservação, compreende-se, portanto, que o desenvolvimento de pré-argamassas de cal ou um tratamento padrão em produção industrial para conservação, provavelmente ainda não é economicamente viável para as empresas, no entanto, uma nova formulação de argamassa deve respeitar os requisitos de compatibilidade com o suporte existente, sendo executada com materiais semelhantes aos originais e com base na mesma técnica de fabrico.

Resolver o problema da conservação e reabilitação dos importantes monumentos históricos deve ser tido em conta na garantia da preservação da identidade histórica e cultural de um país.

6. REFERÊNCIAS

6.1. Referências e Referências bibliográficas

(publicação), h. (s.d.).

António Santos Silva, L. (2013). Seminário "Reboco de Edifícios Antigos".

Arshad Ahmed and John Sturges. (2015). *Materials Science In Construction: An Introduction*. Oxford, Reino Unido: Taylor & Francis Ltd.

Carta de Digne 1991. (s.d.).

Carta de vенеza 1964. (s.d.). *Carta internacional sobre a conservação e restauro de monumentos e sítios*.

Construção Magazine, nº 25. (Maio de 2008).

Coutinho, J. d. (s.d.). Materiais de Construção 2. FEUP 2006.

Coutinho, Joana de Sousa. (1999). Agregados para argamassas e betões.

<http://portaldoclima.pt/>. (s.d.).

<http://www.conimbriga.gov.pt/portugues/ruinas.html>. (s.d.).

<http://www.euromortar.com>. (s.d.).

<http://www.lhoist.com>. (s.d.).

<http://www.microscope-antiques.com/leitzpol.html>. (s.d.).

<http://www.secilargamassas.pt/>. (s.d.).

<http://www.struers.com/en-GB/Products/Grinding-and-Polishing/Grinding-and-polishing-equipment/Semi-automatic-grinding-and-polishing/DiscoPlan-TS>. (s.d.).

<https://www.academia.edu>. (s.d.). Obtido de https://www.academia.edu/3838629/Gruta_do_Morgado_Superior_Um_Estudo_de_Caso_Funer%C3%A1rio_no_Alto_Ribatejo_Tomar_Portugal.

kingery, W., Vandiver, P., & Prickett, M. (s.d.). *Jornal of Archaeology. Vol. 15 nº2 Summer 1988*.

M. Rosário Veiga & José Aguiar. (s.d.). *Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos*.

NP EN 459-1. (2005).

Prof. Fernando Branco, P. M. (2009). Levantamento das carteristicas dos agregados em Portugal. Coimbra.

Veiga, Maria Rosário. (s.d.). LNEC. *Cal artesanal VS Cal industrial*.

www.lneg.pt. (s.d.).

www.padraogypsumbrasil.com.br. (s.d.).

6.2. Referências digitais

http://www.apfac.pt/	06/16
http://www.lhoist.com/	08/16
http://www.lneg.pt/	08/16
https://educavita.blogspot.com/2013/08/petrografia.html	08/17
http://www.lnec.pt/	02/17
https://www.elsevier.com/	04/17
https://meandrocvr.wordpress.com/blog/	06/17